

Российская Академия Наук
Институт философии

**МЕТАВСЕЛЕННАЯ, ПРОСТРАНСТВО,
ВРЕМЯ**

Москва
2013

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

УДК 523.11
ББК 22.632
М 54

Редколлегия:

доктор филос. наук В.В. Казютинский (ответственный редактор),
доктор филос. наук *Е.А. Мамчур*, кандидат физ.-мат. наук *А.Д. Панов*,
кандидат филос. наук *В.Д. Эрекаев*

Рецензенты

доктор филос. наук *В.Г. Буданов*
доктор филос. наук *В.А. Яковлев*

М 54 **Метавселенная, пространство, время** [Текст] / Рос. акад. наук, Ин-т философии ; Отв. ред. В.В. Казютинский. – М. : ИФРАН, 2013. – 141 с. ; 20 см. – Библиогр. в примеч. – 500 экз. – ISBN 978-5-9540-0238-6.

В книге рассматриваются некоторые аспекты революционных изменений научной картины мира, обусловленные развитием современной космологии. Проанализированы философские, эпистемологические и онтологические основания концепции Метавселенной (Мультиверса), возникшие в неклассической физике и квантовой космологии. Обсуждаются парадоксальные для науки проблемы реальности принципиально ненаблюдаемых объектов. Затронуты споры вокруг понятия реальности в современной философии, физике и космологии. С разных позиций обосновывается статус математических структур, используемых современной космологией. Большое внимание уделено эпистемологическим проблемам самоорганизации пространства и времени в моделях Метавселенной, границам применимости современных смыслов этих понятий.

ISBN 978-5-9540-0238-6

© Коллектив авторов, 2013
© Институт философии РАН, 2013

Предисловие

Инициатором, вдохновителем и ответственным редактором этой книги был Вадим Васильевич Казютинский – **известный отечественный философ**, посвятивший всю свою творческую жизнь проблемам астрономии и космологии. Он был знаком и сотрудничал со многими известными советскими и российскими космологами: академиком РАН В.А.Амбарцумяном, академиком АН Эстонской ССР Г.И.Нааном, А.Л.Зельмановым, Г.М.Иддисом, член-кор. РАН А.А.Старобинским, И.Д.Новиковым, академиком РАН А.М.Черепашуком, и многими др. Вел секцию на ежегодных Научных чтениях памяти К.Э.Циолковского (Калуга), возглавлял семинар по космической философии в ГАИШ (МГУ), принимал активное участие в разработке российского варианта проекта SETI (поиски внеземных цивилизаций), проводил теоретические семинары в родном ему секторе философских проблем естествознания Института философии РАН.

Представляемая читателю книга завершает спланированную и подготовленную им трилогию монографий, сквозной темой которых, объединяющей их в некое единое целое, выступает философия современной космологии. Речь идет о недавно опубликованных книгах «Современная космология: философские горизонты» (М., 2011), «Космология, физика, культура» (М., 2011) и представляемой на суд читателя настоящей монографии «Метавселенная, пространство, время». В уже опубликованных двух первых книгах, тепло встреченных научной и философской общественностью нашей страны, нашел отражение целый спектр концептуальных, мировоззренческих, методологических, эпистемологических, культурных и социальных проблем и аспектов современного космологического знания.

Внезапная кончина Вадима Васильевича не дала ему возможности завершить последнюю монографию. Он не успел написать свою собственную статью, также как и завершить редактирование книги. В связи с этим редколлегия пришлось несколько изменить формат книги, включив в нее еще одну статью, подредактировать уже подготовленные к публикации статьи других авторов и выполнить почетную и вместе с тем печальную миссию – посвятить книгу памяти самого ее создателя – ***В.В.Казютинского.***

Редколлегия труда и коллектив сектора философских проблем естествознания ИФ РАН – неизменных участников организуемых Вадимом Васильевичем семинаров, любящих и бесконечно уважающих его.

Время – коммуникация – Вселенная

Мне было бы приятно, если бы те, кто хочет мне возразить, не торопились бы это делать, а постарались бы понять все, что я написал до вынесения суждений со своей стороны: ибо все связано воедино и конец служит тому, чтобы обосновать начало.

Декарт. Письмо к Мерсенну

В этой статье речь пойдет о том, что точнее и, возможно, лучше было бы назвать «проблемой нелинейности времени в синергетическом контексте». В конце концов, синергетика имеет дело с самоорганизацией, нелинейностью, а проблема времени так или иначе является для нее одной из центральных. Во всяком случае именно так обстоит дело в том варианте синергетического дискурса, который сформирован в работах И.Пригожина.

Итак, что такое время в самоорганизующейся Вселенной? Далее столь же естественно возникает вопрос: о каком времени идет речь? Принято различать время «внешнее», «объективное», физическое и время «внутреннее», «субъективное», психологическое, а также еще и время социальное, историческое. И тогда, в контексте такого различия, кажется столь же естественным отнести «время в самоорганизующейся Вселенной» к сфере космологии, эволюционного естествознания, а потому относить его к категории внешнего, объективного. Однако такого рода различие-отнесение, будучи ориентированным на конкретные дисциплинарные контексты, сталкивается с трудностями всякий раз, как только мы выходим в междисциплинарное и трансдисциплинарные измерения познания, которые, собственно говоря, и имеются в виду, когда мы говорим о синергетическом контексте рассмотрения самоорганизующейся Вселенной, о проблематике, именуемой универсальным эволюционизмом. В этом контексте мы не можем игнорировать темпоральное измерение субъекта, понимаемого не только

как внешнего наблюдателя, определяющего временной порядок событий, но и как активного участника самого процесса их порождения. При этом, подчеркнем, субъекта, осознающего себя и как участника социально-исторического процесса, в котором он как таковой и становится. Так, в фундаментальном труде выдающегося социолога современности Мануэля Кастельса «Информационная эпоха» мы находим множество утверждений о времени, в том числе, например, и таких: «Мы являемся воплощенным временем, так же как и наши общества, созданные историей. Однако простота этого утверждения скрывает сложность понятия времени – одной из самых противоречивых категорий и в естественных, и в общественных науках, категории, чья центральная роль подчеркивается текущими дебатами в социальной теории. Действительно, трансформация времени в информационно-технологической парадигме, в которой она формулируется социальной практикой, будучи неразрывно связанной с возникновением пространства потоков, является одним из оснований нового общества, в которое мы вошли». И далее Кастельс ссылается на «классическую книгу» Уитроу «Естественная философия времени», который «показал, как значительно варьировались представления о времени на протяжении истории: от предопределенности человеческой судьбы в вавилонских гороскопах до ньютоновской революции, связанной с абсолютным временем как организующим принципом природы»¹.

Итак, если мы переходим от дисциплинарного взгляда на время к междисциплинарному его рассмотрению в синергетическом контексте, нам, очевидно, необходимо еще раз войти в его субъективно ориентированные измерения.

Подчеркнем два момента, важные для понимания дальнейшего. Во-первых, говоря о междисциплинарном подходе, мы имеем в виду прежде всего системно-синергетический подход, как он видится сегодня в контексте современного этапа развития науки, именуемого постнеклассическим. Во-вторых, синергетический подход – это прежде всего установка на познание процессов самоорганизации, предполагающая переход к качественно новой междисциплинарной философско-научной парадигме самоорганизующейся (эволюционирующей) Вселенной (И.Пригожин, Г.Хакен, Э.Янч), познаваемой погруженным в эту вселенную самоорганизующимся (эволюционирующим) субъектом. Однако этот переход,

несомненно, еще далек от своего завершения, ставит множество вопросов как конкретно-научного, так и философского характера, на которых в рамках настоящей статьи у автора нет возможности останавливаться. Далее, отчасти следуя И.Пригожину, мы будем говорить о переоткрытии времени, происходящем в рамках его нового постнеклассического понимания, как своего рода синергического конструкта, выстраиваемого в совместном диалоге самых разных дисциплин в диапазоне от философии до физики.

Мы начнем с философии с тем, чтобы, пройдя круг рассуждений междисциплинарного характера, вернуться опять к философии в надежде обрести на этом пути некоторое приращение смысла. Именно такой путь повторного вхождения (Re-entry) символизирует для нас то, что обозначается словом переоткрытие. В синергетическом дискурсе термин «переоткрытие» есть некий «средний», а еще точнее – «третий» термин, коммуникативно опосредующий бинарную оппозицию терминов-понятий «открытие – конструирование». Необходимость такой тринитарной логики диктуется синергетически интерпретированной междисциплинарностью постнеклассической науки, ориентированной на познание саморазвивающихся «человекомерных» (В.С.Стёпин) систем, а потому на сближение и диалогическую интеграцию естественнонаучного, социогуманитарного и технического знания. Хотелось бы также подчеркнуть, что речь идет именно о диалоге и интеграции в контексте нелинейной (круговой) коммуникации, а не о редукции одного типа знания к другому как к чему-то более фундаментальному. То есть речь идет о динамической сети взаимосвязанных познавательно-креативных процессов, а вовсе не о статической иерархии их упорядоченных результатов. Следует также отметить, что этот диалог и интеграция происходят прежде всего в сфере исторически конкретного человеческого опыта, важной составной частью которого является и наука как человеческое предприятие и что в сфере этого опыта взаимодействуют между собой, строго говоря, не разные науки, а конкретные люди или коллективы людей: ученые, физики, биологии, психологи, лингвисты, историки, программисты и т. д. Такое смещение фокуса рассмотрения – от мира идей к миру людей – необходимо для того, чтобы увидеть «эмпирические» трудности коммуникативного взаимодействия разных дис-

циплин, обусловленные прежде всего тем, что их представители плохо понимают друг друга. **Оно необходимо также для того, чтобы обозначить «место встречи» представлений о самоорганизующейся Вселенной и самоорганизующегося субъекта.**

Вообще говоря, в этом пункте наших рассуждений мы уже «встречаемся» с конкретной практической философией, а именно с философией понимания, известной под названием философской герменевтики, которую также можно рассматривать как необходимую составную часть междисциплинарной философии самоорганизующегося субъекта. Именно с философской герменевтикой связана стратегия человеческого понимания (интерпретации) как кругового процесса от частей к целому и обратно; процесса, который всякий раз с необходимостью заставляет нас возвращаться в итоге в мир идей, идеальных сущностей в духе Платона или в третий (объективированный) мир теорий, проблем, моделей Карла Поппера, если иметь в виду более близкие нам по времени фигуры современных философов.

В этом же мире идеальных сущностей Платона-Поппера «живут» и парадигмы Т.Куна как познавательные-деятельностные модели, принимаемые большинством научного сообщества в качестве образцов решения научных задач в той или иной дисциплине, находящейся на стадии своего «нормального роста», прерываемого время от времени кризисами и революциями и соответственно сменой парадигм. Существенно, что, по Куну, приверженцы разных парадигм обычно разделены барьером непонимания, обусловленного не просто различием используемых ими научных языков, но и их мировоззренческими установками (картинами мира), что делает их, согласно тому же Куну, несоизмеримыми между собой. И хотя эти барьеры суть продукты совместной человеческой познавательной деятельности, то есть они созданы ею самой, как некий ее побочный продукт, именно Томасу Куну, а до него Людвигу Флексу² мы обязаны их методологическим открытием в качестве факта, принадлежащего миру intersubjectивной реальности. Однако на этот факт можно смотреть по-разному, а именно: либо как на факт открытия существования разделяющих научное познание коммуникативных барьеров, либо как на факт осознания необходимости создания средств для осуществления трансдисциплинарных переходов между ними. Сам Кун первоначально интерпретировал

свое открытие в первом смысле, как факт существования барьеров языковой несоизмеримости между разными парадигмами. При этом он ссылаясь на историю науки, на познавательный опыт физики, в частности, на фундаментальное различие образцов классического и квантового типов мышления, особенно выпукло продемонстрированное в дебатах Эйнштейна и Бора по поводу интерпретации квантовой механики. Иллюстрируя это различие, Кун обращался также к примерам из гештальт-психологии, в частности, к хорошо известным примерам восприятия неоднозначных фигур типа «утка – кролик» или «две вазы и бюст Вольтера» и т. д. По аналогии предполагалось, что приверженцы разных парадигм не могут понять друг друга прежде всего потому, что имеют разные устойчивые видения «одного и того же паттерна событий», стабилизируемых посредством обратных коммуникативных связей, кои задаются разными теоретически нагруженными языками интерпретаций. «Только теория решает, что именно можно наблюдать», – так сказал Эйнштейн в беседе с Гейзенбергом на заре создания квантовой механики³. Мысль, немало удивившая, по его собственным словам, самого Гейзенберга.

Надо сказать, что модель (а точнее говоря – метамодель) развития научного знания Куна имела своей изначальной целью противостоять двум достаточно влиятельным в 60-е гг. прошлого столетия взглядам на этот процесс. Первый – позитивистский – рассматривал развитие научного познания как прогресс в накоплении добываемых им эмпирических фактов, представляемых в систематизированном виде посредством разного рода теорий. Второй – диалектико-материалистический – видел прогресс науки в асимптотическом приближении к абсолютной истине, реализуемый посредством познания наукой истин относительных; как процесс все более полного и всестороннего и прежде всего теоретического отражения человеком объективно, независимо от него существующей реальности.

Общей для этих на первый взгляд полностью противоположных точек зрения на развитие научного знания была вера в прогресс, понимаемый, однако, в первом случае линейно-механистически, а во втором – чисто телеологически и в обоих случаях реализуемый как бы автоматически, без всякого человеческого участия. Завороженность этой изначальной целью привела Куна к

убеждению в необходимости отказа от идеи прогресса научного познания, что послужило поводом для его критиков как справа, так и слева, упрекать его в релятивизме и иррационализме.

Нас в данном случае не интересует вопрос об уместности или степени справедливости этой критики. Для нас более интересен вопрос о возможности переформулирования модели парадигмы Т.Куна как факта открытия границ коммуникации не только в рамках одной дисциплины, но и в контексте междисциплинарных границ. Заметим в этой связи, что Кун был склонен отрицать не столько прогресс науки вообще, сколько его идеализированные, абстрактно-линейные и столь же абстрактные провиденциально-телеологические модели. Отклоняя упреки в релятивизме, он ссылался на дарвиновскую модель биологической эволюции как на более уместную для ведения диалога на эту тему. Несколько сложнее дело обстоит с упреками в иррационализме. Термин «иррациональное» многозначен и весьма сильно нагружен разного рода ценностными философскими суждениями как со знаком плюс, так и минус. Сам Кун дал повод для таких упреков, говоря о том, что переход от одной парадигмы к другой не опирается на логику рационального познания, а происходит в форме быстро протекающего переключения гештальта, наподобие внезапного, непредсказуемого обращения в новую веру, откровения свыше и т. д. Но здесь он, будучи физиком, а не философом по образованию, скорее всего следовал традициям физики, где словосочетание «иррациональное поведение» использовалось, например, Н.Бором, а потом Шредингером для обозначения ситуации теоретического описания квантовых переходов электрона в атоме. И все же дело не в иррациональности как таковой, что бы мы ни имели ввиду под этим термином. Заметим, что мы не видим необходимости нагружать этот термин каким-то изначально негативным смыслом, видя в иррациональности попытку принизить роль разума в познавательной деятельности человека. Речь, скорее, должна идти о разрыве или сбое определенной, исторически сложившейся формы интересу субъективной интеллектуальной коммуникации, а именно, о коммуникации, представленной в ее предельно объективированной, обезличенной логико-математической форме теоретического знания. Констатация иррациональности в данном случае есть не более чем фиксация познавательного разрыва, порождаемого нерелексив-

ным использованием классической (аристотелевской) логики бинарных оппозиций. И эта констатация ставит нас перед сложным гносеологическим выбором, обусловленным необходимостью восстановления непрерывности, идентичности субъекта современного научного познания. Этот разрыв можно попытаться преодолеть, оставаясь в контексте рациональной интеллектуальной коммуникации, отказавшись от восходящей к Аристотелю логики бинарных оппозиций посредством перехода к разного рода «неклассическим логикам», известными также под названиями квантовых, модальных, временных и т. д. логик. Но такого «внутриконтекстного» перехода недостаточно. Нужен мета-контекстный переход с подключением необходимых ресурсов философского знания. Здесь нам может помочь принцип дополнительности Н. Бора, обобщенно интерпретируемый как коммуникативное средство такого метаконтекстного перехода. С точки зрения так понимаемой обобщенной логики принципа дополнительности мы можем говорить об ограниченной и открытой – (пост)неклассической форме рациональности. И то, и другое будет верно. Мы говорим об ограничении разума, чтобы, следуя в какой-то мере философской стратегии Канта, дать место другим формам человеческого познания – нравственно-этическому, художественному, интуитивному, чувственному, образному и т. д. И мы говорим об открытом разуме, чтобы заново соединить эти формы с ним, имея в виду здесь прежде всего коммуникативное воссоединение сферы разума со сферами чувства и нравственности; воссоединение, в результате которого мы получаем разум как не только практический, мыследействующий, но и эмоциональный, мыслечувствующий, а также посткритический, ограничивающий сомнение верой, прежде всего в существование некоего высшего трансцендентного (космического) начала в мироздании. В контексте такой коммуникативно-диалогической картографии сфере иррационального просто нет места. Можно сказать и иначе, а именно, что место иррационального занимает автономный разум «сам по себе», претендующий на то, что бы «разговаривать с самим собой», а потому неизбежно впадающий в заблуждение тотальной рационализации. Это верно даже по отношению к критической рациональности в смысле Поппера. Последняя, как пишет Эдгар Морен, «...упражняется в частности на заблуждениях и иллюзии, содержащихся в верованиях, доктринах и теориях. Но эта

рациональность также несет в своих недрах возможность заблуждения и иллюзии, когда она превращается... в рационализацию. Рационализация считает себя рациональной, поскольку создает совершенную логическую систему, основанную на дедукции или индукции. Но такая рациональность основывается на ложных или искаженных базовых элементах, остается замкнутой...»⁴

Здесь самое время еще раз вернуться к Куну и его критикам, упрекавшим его в иррационализме, якобы присутствующем в его концепции научных революций как скачкообразной, дискретной смене парадигм. Отстаивая свою позицию, Кун, помимо прочих аргументов, ссылаясь на научные приборы и эксперимент, которые, несмотря на смену парадигм, все же оставались неизменными, а потому могли в принципе рассматриваться в качестве основы для восстановления непрерывности научного знания, в качестве ее потенциального носителя. Но Кун, насколько нам известно, не пошел по этому пути. Как уже отмечалось выше, в фокусе его внимания было открытие феномена срыва коммуникации в науке, отождествляемой с ее «высшей» рационально-интеллектуальной формой. Он не был философом техники, а научные приборы и инструменты были для него (в рамках все той же бинарной логики) скорее «средствами производства» научного знания, нежели дополнительным средством коммуникации между учеными. Приводимый Н.Бором психологический пример дополнительности взгляда на посох в руке слепого как на внешний объект и как на инструмент коммуникации с внешним миром, его познания, остался невостребованным. Несмотря на это, все же кажется странным, что Кун не стал развивать инструментально-коммуникативный подход к познанию. Ведь отказавшись от понятия истины, он пошел по пути философии прагматизма с ее акцентом на инструментальном, орудийном характере науки как деятельности. Неслучайно, что такой выдающийся представитель современного американского неопрагматизма, как Ричард Рорти, причисляет Куна к числу великих философов. Но сам Рорти видит вклад Куна в философию в его понятии парадигмы, хотя Кун о парадигмах в философии как таковой ничего не утверждал. Понятием философской парадигмы мы обязаны скорее самому Рорти, использовавшему его в качестве инструментально-коммуникативного средства для восстановления преемственности в историческом диалоге фило-

софов разных школ, времен и поколений от Платона и Сократа до Витгенштейна, Гуссерля, Хайдеггера и далее⁵. Здесь важно то, что таким коммуникативным средством понятие парадигмы становится благодаря признанию (осознанию) возможности существования разных философских парадигм не только в виде последовательно сменяющих друг друга и замкнутых на себя исторических образцов философствования, но и в качестве многообразия параллельно сосуществующих миров, между которыми возможна содержательная коммуникация.

Тем самым закладываются основы новой коммуникативной метапарадигмы самоорганизации, новой практической философии, нового трансцендентального эмпиризма. Эта метапарадигма соответствует коммуникативной парадигме современной постнеклассической науки, ориентированной на междисциплинарный подход к познанию сложноорганизованных саморазвивающихся систем, включая также и системы, называемые В.С.Стёпиным «человекомерными». Но не только. Новая философская метапарадигма коррелирует с процессом становления нового информационного общества, появлением новых информационных технологий, сети ИНТЕРНЕТ и т. д. Проще говоря, новая философская метапарадигма – это философия коммуникации, философия коммуникативного действия (Ю.Хабермас). И в этом качестве она нуждается в осмыслении заново того, кто или что является носителем истинных посланий-сообщений – природа, передовой класс или Бог. Это в свою очередь ведет к переосмыслению проблемы сознания и самосознания как не только чисто философских, но и одновременно междисциплинарных. То есть сознание и самосознание уже не осмысливаются только как нечто объективно истинное или ложное, но скорее как нечто эффективное или неэффективное. Такая трактовка более ориентирована на парадигму философии техники, технических наук, высоких технологий. Но такая философия еще только становится, только возникает, что не означает, однако, что о ней нам пока нечего сказать. Напротив, сейчас как никогда истоки этой философии становятся все более отчетливо различимыми, узнаваемыми, особенно если рассматривать эту философию как некий идеальный продукт развития коммуникативных техник в самом широком смысле этого слова. В контексте исторического горизонта эволюции способов коммуникации мы видим истоки

этой философии в таких трансцендентальных мировых религиях, как христианство, иудаизм вместе с такой относительно автономной от него коммуникативной технологией, как каббала. Не имея возможности входить в детали, отмечу только, что междисциплинарная коммуникативная философия во многом воспроизводит сюжеты трансцендентальной философии Э.Гуссерля как философии субъективного сознания и самосознания, где с необходимостью появляющийся трансцендентальный субъект становится «новым идеальным медиумом коммуникативной системы»⁶. Кратко суммируя сказанное выше, можно сказать, что новая, ориентированная на эволюцию способов человеческой коммуникации междисциплинарная философия (или, быть может, точнее, философская парадигма) – это философия, в фокусе которой находится самотрансцендирующий (самоорганизующийся) субъект, это субъект-ориентированная философия, видящая свою главную задачу в открытии (конструировании) новых способов человеческой коммуникации и одновременно в восстановлении (реконструкции) прежних, традиционных ее технологий.

Итак, мы подошли к одному из центральных пунктов наших рассуждений с тем, чтобы вернуться к рассмотрению междисциплинарного переоткрытия времени как открытия его операционально-коммуникативной конструктивной природы. Философия трансцендентального субъекта как междисциплинарная феноменология здесь подходит только отчасти, поскольку она в значительной степени ориентирована на пространственные представления, на возможность овладения пространством, на освоение его, но не времени. Здесь, конечно, на ум приходит феноменология Хайдеггера и прежде всего его книга «Бытие и Время». Однако рассмотрение философии Хайдеггера как рефлексии над длящейся во времени коммуникацией внутри бытия «здесь и сейчас» – это отдельный разговор, выходящий за рамки настоящей статьи.

Здесь уместнее вспомнить о работах Анри Бергсона, с которым, «вопрошая время», вел диалог И.Пригожин – один из самых ярких представителей постнеклассической науки.

Упомянув в начале написанной им в сотрудничестве с И.Стенгерс книги «Время, Хаос, Квант» одну из ключевых работ Анри Бергсона «Творческая эволюция», И.Пригожин далее пишет: «В этом труде Бергсон высказал мысль о том, что наука успеш-

но развивалась только в тех случаях, когда ей удавалось свести происходящие в природе процессы к монотонному повторению, иллюстрацией чего могут служить детерминистические законы природы. Но всякий раз, когда наука пыталась описывать созидательную силу времени, возникновение нового, она неизбежно терпела неудачу. Выводы Бергсона были восприняты как выпад против науки. Люди охотно признавали, что естественные науки не проникли в области, традиционно оставляемые за философией, такие как свобода и этика. Но, с точки зрения Бергсона, даже в тех областях, где успехи естествознания могли бы быть весьма внушительными, результаты оказались гораздо скромнее ожидаемых. Согласно Бергсону, наше понимание природы должно опираться не на объекты, выделенные наукой вследствие их повторяющегося временного поведения, а на наш собственный субъективный опыт, который является в первую очередь и по большей части опытом длительности и творчества. По мнению Бергсона, «прожитое время», ассоциируемое с нашим опытом длительности, не противопоставляет нас миру, подверженному действию инвариантных во времени законов. Наоборот, оно выражает нашу погруженность в природу, наше единство с реальностью. Одна из целей, которую преследовал А.Бергсон при написании книги «Творческая эволюция», было намерение «показать, что Целое имеет такую же природу, как и Я, и что мы постигаем Целое путем все более глубокого постижения Я»⁷.

Комментируя приводимое им высказывание Бергсона, И.Пригожин отмечает, что тот «намеревался предложить метод, способный конкурировать с научным знанием, и в этом потерпел неудачу. То, что Бергсон называл “нашим ощущением собственной эволюции и эволюции всех вещей в чистой длительности”»⁸, не привело к возникновению нового способа познания, сравнимого по значимости с научным. Но именно потому, что мы не можем более разделять веру в правильность предложенного Бергсоном решения, дух поставленной им проблемы пронизывает всю эту книгу.

Но что это за дух? Автор надеется, что будет конгруэнтен И.Пригожину, утверждая, что это дух «встречи» творческих начал человека как познающего субъекта и природы (Вселенной). Существенно, что последняя здесь уже осознается иначе, чем в

ситуации классического познания эпохи Галилея-Ньютона. Она уже не противостоит человеку чисто внешним образом в качестве статичного объекта, «бездушного автомата». Один из гносеологических уроков теории относительности и квантовой механики состоял в том, что познающий субъект с необходимостью должен рассматриваться как часть природы. И в этом качестве он должен быть объективирован. Такова была познавательная стратегия Эйнштейна, начавшего с субъективного времени и объективировавшего это время посредством введения конструкции наблюдателей, обменивающихся информацией с помощью световых сигналов. Заметим, что на эту конструкцию можно посмотреть двояко: как на естественно присутствующую в «самой природе» и как на искусственно выстроенный интерфейс-посредник, коммуникативно воссоединяющий человека и природу. Как заметил Н. Винер, теория относительности неотделима от идеи обмена сигналами, информацией, осуществляемого с помощью соответствующих технических устройств (часов, источников света и т. д.).

Бергсон, как известно, не признавал теорию относительности Эйнштейна, полагая, что такая объективация «лишила время прочной основы»...⁹

Мы не будем больше тревожить тени Великих, обсуждая коммуникативную междисциплинарную специфику складывающейся сейчас философской парадигмы, ориентированной на сложность, темпоральность, самоорганизацию. Для нас здесь самое важное – обратить внимание на рост в современном философском познании интегративных, междисциплинарных тенденций, ориентации на диалог, на выработку целостного антропоцентрического и с необходимостью дополняющего его космоцентрического взгляда на человека и его предназначение в мире, на его бытие в исторически осознаваемом времени. Погружаясь в междисциплинарный контекст естественнонаучного, технического и социогуманитарного знания, но не растворяясь в нем, постнеклассическая философия становится своего рода коммуникативной философией самоорганизации, «трансцендентального эмпиризма», философией «практического участия», ориентированной прежде всего на самоорганизующийся с ее участием диалог с другими дисциплинами (такими, как психология и когнитивные науки), на синергетическое взаимодействие с ними.

И прежде всего именно в этом качестве философия с необходимостью выступает как субъект-центрированная, в которой полагается, что «субъект – это качественно определенный способ самоорганизации» (А.В.Брушлинский)¹⁰ в самоорганизующейся Вселенной.

И именно такая междисциплинарная, субъект-центрированная философия «практической включенности» открывает новые горизонты для «нового открытия времени» в духе Бергсона-Пригожина. И еще одно обстоятельство не должно остаться без внимания, именно: переоткрытие времени как «вертикального синтеза» иерархий физического времени и времени человеческого бытия и становления, в полной мере возможно при осознании их опосредованности современными технологиями человеческой коммуникации. Без хорошо разработанной современной философии сознания и философии техники шансы на такой синтез малы.

Для лучшего понимания сути проблемы мы попытаемся замкнуть круг своих рассуждений, остановившись на примерах трех философских конструкций, которые, быть может, не так известны, но важны, поскольку в них предприняты попытки увязать философию сознания и времени в рамках представлений о деятельности самоорганизующегося субъекта. Эти примеры взяты из статьи видного российского психолога К.А.Абульхановой «Личность как субъект жизненного пути» и даются в комментированном пересказе с цитатными заимствованиями¹¹.

Речь идет о концепции овладения временем малоизвестного русского философа В.Н.Муравьева, философской концепции жизни (или философии жизни и ее субъекта) С.Л.Рубинштейна и, наконец, концепции космического субъекта Ю.А.Шрейдера.

Муравьев делит время на свободное, т. е. то, которое определяется человеком, и принудительное, рассматривая это деление с позиций системности, учитывающей существование петель обратной связи как циклической (кольцевой) системы причинно связанных элементов, так что каждый элемент воздействует на последующий. Внутреннее время любой системы, в отличие от принудительного, внешнего, возникает из множества ее составляющих, объединенных общим (циклическим) взаимодействием. Но специфика человека и его времени, связанная с наличием у него сознания, заключается в том, что последнее рождает новый фокус жизни. Степень

осознанности, т. е. понимания себя как разумно действующей причины, дает критерий для субъектности действия или определяет деятеля. Причем объем субъекта, по В.Н.Муравьеву, строго пропорционален кругу сознания. Роль сознания – собирательная, оно способно сосредотачивать или центрировать действие.

Важно подчеркнуть, что сознание не только концентрирует действия, но способно вбирать в себя объекты, превращая их в субъекты, делать внешние вещи частью самого себя. Вспомним еще раз о примере Бора с посохом слепого, осознаваемым как часть его тела и как внешний объект в зависимости от того, как он держит посох рукой. Что-то в этом роде происходит и с опытом переживания времени. Тем самым проливается новый свет на внутренний, орудийный механизм формирования человеческого времени, у которого есть еще две характеристики. Это длительность как существование центра, объединяющего в процессе самоорганизации собственные временные последовательности, и память как способность воспроизводить прошлое в настоящем, повторить уже свершенное.

В итоге В.Н.Муравьев, отождествляя активность самоорганизующегося субъекта с расширением и трансформациями его сознания, приходит к выводу, что сознание в принципе способно управлять внешним временем. На первый взгляд такой вывод кажется чисто идеалистическим в контексте материалистически ориентированной философской парадигмы, утверждающей принцип первичности бытия и вторичности сознания. Но, как справедливо указывает Абульханова, «если исходить из понимания бытия не только как физической материи, то этот ход мысли оказывается обоснованным, субъективное время воздействует на объективное время человека (или регулирует его), Рубинштейн признавал регулируемую роль сознания по отношению к бытию, т. е. не только зависимость сознания от бытия, но и обратную зависимость. Кроме того, он утверждал антропоцентрический (или эпицентрический) статус субъекта в бытии. Субъект – по Рубинштейну – центр реорганизации бытия, источник активности по его преобразованию. Следовательно, социальное время – это время культуры, истории, материального производства и т. д. Это время, созданное человеком, а не только время физической материи. Так обстоит дело в собственно философском плане, в котором рассматривали катего-

рию субъекта Муравьев и Рубинштейн. Но это есть объективное время и по отношению к индивидуальному субъекту – личности. Эта особая человеческая объективность времени, которая подчиняется единым законам человеческого бытия и потому человеком же как субъектом может быть изменена и преобразована»¹².

Сходные мотивы можно обнаружить и у Пригожина, хотя он, следуя традиции естествознания, пользуется другим, более объективированным языком, в котором время выступает не как процесс, связанный с субъектом, а как предмет, независимо от него существующий. «Время, – пишет Пригожин, – проникло не только в биологию, геологию и социальные науки, но и на те два уровня, из которых его традиционно исключали: микроскопический и космический. Не только жизнь, но и Вселенная в целом имеет свою историю, и это обстоятельство влечет за собой важные следствия»¹³.

Присоединяясь здесь к диалогу с Пригожиным, обратимся к космическому субъекту Ю.А.Шрейдера. Он различает два способа существования человека. Один – порождаемый необходимостью воспроизводства земной жизни, «связанный с материальным производством»; другой – порождаемый развитием человеческого духа, его самосознанием, носитель идеалов красоты и нравственности, характеризующийся осознанием необходимости своей свободы. Последний и есть, по его мнению, космический субъект, субъект в истинном смысле слова. Эта позиция где-то перекликается с космологической позицией «квантового космического» субъекта Дж.А.Уилера, не только наблюдающего всю историю Вселенной, начиная с Большого взрыва и до наших дней, но и каким-то образом участвующего в ее творении через петлю обратной связи... Но об этом мы будем говорить в заключении нашей статьи.

Вернемся теперь к принадлежащей Рубинштейну философско-психологической концепции двух способов жизни человека: одного – непосредственно вплетенного в практическую конкретность жизни, другого – опосредованного и разорванного рефлексией, выходящей и выводящей за пределы наличного. Сопоставление моделей субъектов по Шрейдеру и Рубинштейну открывает их философские различия, доходящие до несоизмеримости даже в рамках по большому счету общей субъектно-центрированной парадигмы. Эти различия сходны с различием философских позиций Хайдеггера и Уайтхеда.

Рубинштейн, признавая за субъектом активную преобразующую роль, сопрягал (хотя и неявно) антропоцентрическую и космоцентрическую позиции в рамках общей проблемы реорганизации человеческого бытия как становления, подобий самоорганизации человека «внутри» самоорганизующейся вселенной. Согласно Шрейдеру, действительный субъект существует в космическом пространстве-времени, где он обладает свободой. Это достаточно близко к позиции «трансцендентального эмпиризма», если чувство свободы соединить с чувством ответственности перед самой жизнью, человеческим бытием в пространстве-времени. Что же касается Рубинштейна, то он, различая два способа жизни – непосредственный и опосредованный, полагал, что оба эти способа осуществляются в общем для них пространстве-времени жизни. Однако эта пространственно-временная общность констатируется, но не показывается. Она существует скорее потенциально, как пожелание, но не как актуальная реальность. И один из важных возникающих здесь вопросов состоит в раскрытии специфики этой опосредованности.

Что значит «непосредственный» и «опосредованный» способ жизни? Значит ли это, например, что Хайдеггер, философ жизненного мира, понимаемого как «здесь-теперь-бытие», прожил свою жизнь «непосредственно», а его соотечественник – физик-теоретик Гейзенберг, посвятивший ее поискам «центрального порядка» во Вселенной, – прожил ее опосредованно?

Достаточно очевидная абсурдность такой постановки вопроса проистекает во многом из-за того, что он формулируется как индивидуально личностно соотносительный и одновременно в рамках нерелевантной этой соотносительности бинарной логики «или-или». Здесь же требуется недизъюнктивная, временная логика, что-то вроде логики квантовой дополнительности. Здесь нужно выявить смысл оператора «и» как коммуникативного посредника между разными способами «человеческого бытия в мире». Именно здесь кроется если не вся, то во всяком случае часть тайны времени как целостности, как гештальта, как организующего синергетического принципа человеческого бытия. Здесь же в первую очередь надо искать ответ на вопрос: в какой мере мы можем властвовать над временем, а в какой мере время властвует над нами?

И тогда в логике присущего синергетике тринитарного, срединного, пограничного подхода нужно обратиться не к бинарному, а к тринитарному делению мира, в котором осуществляется бытие. Одно из таких делений уже выше мной упоминалось в связи с философией К.Поппера. Другое, в данном случае более адекватное нашей задаче, связано с именем Ролло Мэя – одной из ключевых фигур не только американской, но и мировой психологии экзистенциального направления.

Мэй ввел такое деление в связи с чувством самоотчуждения, беспокойства, тревоги, которым страдают практически все современные обитатели общества западного типа. Мир, согласно Мэю¹⁴, делится на три сосуществующие ипостаси, субмира или сферы. Я это деление приведу в несколько видоизмененном виде, представляя его так, как оно выглядит для меня с точки зрения междисциплинарной синергетико-коммуникативной парадигмы. Первая из них – это *Umwelt* – **окружающая среда, внешняя по отношению к человеку**, однако данная ему в преобразованном им виде в процессе взаимной адаптации его как биосоциального организма и среды, адаптации, понимаемой как двусторонний коммуникативный процесс. Вторая – это *Mitwelt* – структура коммуникативных отношений с окружающими людьми, и третья – это *Eigenwelt* – структура коммуникативных отношений человека с самим собой.

Несколько упрощая ситуацию, *Umwelt* можно рассматривать как сферу-посредник между человеком и «остальной» Вселенной. Это мир, где «обитает» созданная человеком техника, как существующая, однако, в известном смысле независимо от него (как «посох Бора-Джемса»). Это одновременно и мир культуры, мир неосознаваемых человеком человеческих реакций, мир «молчаливого», «скрытого» знания М.Полани. В этом качестве *Umwelt* разделяет общий (в смысле коммуникативной связанности) сектор с *Mitwelt*. Следуя немецкому биологу Я. фон Иксюлю, позиция которого согласуется с позицией современной коммуникативно интерпретированной философии сознания, можно сказать, что *Umwelt* как «окружающая» среда «конструируется в сознании как некая первичная реальность, по отношению к которой природа является своеобразной символической производной»¹⁵. Что же касается *Eigenwelt*, то данная проблема выходит за рамки предлагаемой статьи.

Все сказанное имеет своей целью подчеркнуть, что все три субмира взаимно пересекаются между собой и в идеале гармоничного бытия и становления человека должны образовывать некую гармоническую динамическую целостность. Но нас здесь интересуют не столько вопросы экзистенциальной философии и психологии, сколько синергетика времени как особой, вообще говоря, сконструированной человеком реальности, как событийной целостности в ее коммуникативном измерении.

Таким образом, не существует фундаментального эпистемологического различия между «физическим» временем теории относительности и «техническим» временем создания программ современных сверхсложных систем. С точки зрения всего сказанного выше, эффекты замедления времени и его сжатия имеют в принципе одну природу – изменение темпорального гештальта событий общения, коммуникации человека с самим собой и другими людьми, диалога с природой и трансцендентным началом, изменение способов межличностной коммуникации непосредственной или опосредованной, но в любом случае включающей в себя как коммуникативные практики информационного обмена, так и духовные практики космического субъекта «трансцендентального эмпиризма».

В заключение напомним об исключительном по своему идейному богатству наследию недавно скончавшегося выдающегося физика-теоретика Джона Арчибальда Уилера. При этом существенный, но до сих пор до конца не осмысленный во всей его глубине период его творчества связан с введением в физику в качестве фундаментального понятия концепции информации. В своей автобиографии, опубликованной в 1998 году, Уилер писал: «Моя жизнь представляется мне разделенной на три периода. В первый ... я был захвачен идеей, что “Все – это частицы”. Второй период я называю “Все – это поля”. Теперь же я захвачен новой идеей: “Все – это информация”. Чем больше я размышляю о квантовых тайнах и о нашей собственной способности постигать тот мир, в котором мы живем, тем больше вижу фундаментальное значение логики и информации как основы физической теории. Все из бита (It from bit). Иными словами, все сущее – каждая частица, каждое силовое поле, даже сам пространственно-временной континуум – получает свою функцию, свой смысл

и в конечном счете самое свое существование – даже если в некоторых контекстах не напрямую – из ответов, извлекаемых нами с помощью физических приборов, на вопросы, предполагающие ответ “Да” или “Нет”, из бинарных альтернатив, из битов. “Все из бита” символизирует идею, что всякий предмет и событие физического мира имеет в своей основе – в большинстве случаев в весьма глубокой основе – нематериальный источник и объяснение; что то, что мы называем реальностью, вырастает в конечном счете из постановки “да или нет” – вопросов и регистрации ответов на них при помощи аппаратуры; коротко говоря, что все физические вещи в своей основе являются информационно-теоретическими и что Вселенная требует нашего участия»¹⁶.

Напомним в связи с этим знаменитую игру, предложенную Уиллером, с угадыванием предмета, который не загадывали, но этот факт скрывают от отгадывающего. Последний называет предполагаемый предмет, остальные отвечают ему «да» или «нет» из соображений конвенции и непротиворечивости с предыдущими ответами. Поразительным образом искомый предмет находится, культура коммуникации создает вещи из ничего, из семантического вакуума.

При этом Уилер еще более радикализирует свой подход, задаваясь вопросом: «Что есть мир – большая машина или великая идея?». Уилер, конечно же, имеет в виду вовсе не механическую машину, а машинерию структуры реальности в форме магического уравнения, управляющего геометро-подобным полем в суперсимметричном многообразии десяти или более магических чисел размерности. или идея, которая настолько очевидна, что вовсе не является очевидной. Уилер склоняется в пользу Идеи, утверждая, что идея плюс некоторая модель этой идеи пусть неточной, неполной, более того, воспринимаемой всецело некорректной, все же гораздо ценнее сотни обобщений. Духовное сродство Уилера с Бором ощущается здесь особенно отчетливо. Но все-таки что же это за идея? Она состоит в утверждении, что мир представляет собой самосинтезирующуюся систему экзистенций (existences). Что же касается модели того, как подобная самосинтезирующаяся система могла бы мыслиться, чтобы быть работоспособной, то она представлена в виде замкнутой цепи, в которой возникает смысл. Эта цепь представляет собой совместно разделяемый (shared) опыт, который мы называем Мир, в том виде, как он строит сам себя из элемен-

тарных квантовых феноменов, элементарных актов наблюдателя участника. Другими словами, вопросы, которые участник ставит, и ответы, которые он получает посредством своих приборов плюс их коммуникация с другим, порождают то, что мы называем системой. Это целостная большая система, которая только на поверхностный взгляд выступает, обнаруживает себя как пространство, время, частицы и поля. Эта система в свою очередь порождает и наблюдателя-участника. Итак, идея, по Уилеру, представляет мир как сложную совокупность взаимокоммуницирующих сущностей и базируется на квантово-информационной модели¹⁷.

В конечном счете это вопрос о субъекте–наблюдателе сложности, сложного мира, который сам по себе должен быть сложен, *приравнен* тому, что он наблюдает и с чем он имеет дело. Процесс погружения наблюдателя в природу как констелляцию сложно переплетающихся процессов должен быть продолжен. Это естественное продолжение метафизической исследовательской программы Пригожина «нового диалога человека с природой». Именно для этого, согласно И.Пригожину, требуется трансформация самого наблюдателя-субъекта таким образом, чтобы он был наделен способностью различать между будущим и настоящим. А для этого субъект-наблюдатель должен быть открытой, неравновесной, нелокализуемой диссипативной структурой, включенной в самосозидающую и самосознающую квантовую Вселенную Уиллера.

Примечания

- ¹ Кастельс Э. Информационная эпоха. М., 2000. С. 33.
- ² См.: Кун Т. Структура научных революций. М., 1974.
- ³ Гейзенберг В. Избр. филос. работы. СПб., 2006. С. 339.
- ⁴ Морен Э. Метод. Образование в будущем: семь неотложных задач // Синергетика и образование. Вып. 5. М., 2006. С. 27.
- ⁵ См.: Философский прагматизм Ричарда Рорти и философский прагматизм – Российский контекст. М., 1997.
- ⁶ См.: Марков Б.В. Трансцендентальная феноменология с телекоммуникативной точки зрения // Я.А.Слинин и Мы: к 70-летию проф. Ярослава Анатольевича Слинина. СПб., 2002.
- ⁷ Пригожин И., Стенгерс И. Время, Хаос, Квант. М., 1994. С. 25.
- ⁸ Там же.
- ⁹ Там же. С. 48.

- ¹⁰ Брушлинский А.В. Психология субъекта. М., 2003. С. 11.
- ¹¹ Абульханова К.А. Личностный субъект жизненного пути // Время как фактор изменения личности. Сб. научн. тр. / Под ред. А.В.Брушлинского и В.А.Поликарпова. Минск, 2003. С. 57–62.
- ¹² Муравьев В.Н. Овладение временем. М., 1998. С. 150.
- ¹³ Пригожин И., Стенгерс И. Время, Хаос, Квант. С. 4.
- ¹⁴ См.: Мэй Р. Открытие бытия. Очерки экзистенциальной психологии. М., 2004.
- ¹⁵ Там же. С. 152.
- ¹⁶ Wheeler J.A. Information, physics, quantum: The search for link // Zurek (ed.) Complexity, Entropy and the Physics of Information. Addison-Wesley, 1990. P. 370, 377.
- ¹⁷ Wheeler J.A. World as system self-synthesized by quantum networking // IBM J.Res.Develop. 1998. Vol. 32. № 1. P. 12–24.

Возможно ли решение космологических проблем в рамках теории суперструн?

Введение в проблему

Областью исследования космологии выступает крупномасштабная структура Вселенной. Как отмечал А.Турсунов, «космология же, отвлекаясь от тех аспектов Вселенной, которые относятся к компетенции других, “частных” наук... исследует лишь один ее аспект – целостный, причем опять-таки с одной стороны – физико-геометрической»¹. Первоначально научные исследования в космологии, которая изучает макромир, проводились в русле классической механики, Общей теории относительности и др. дисциплин, рожденных в лоне классической науки. Квантовая физика открыла новый, неведомый ранее микромир. Стали развиваться новые научные дисциплины, которые обуславливаются взаимосвязью и взаимопроникновением различных научных направлений, в том числе на стыке космологии и физики элементарных частиц. Так рождаются научные проекты, посвященные, к примеру, моделированию геометрии пространства-времени и основных закономерностей Стандартной модели в рамках реляционного подхода с использованием различных классов обобщенных геометрий; исследования квантовых гравитационно-связанных систем; анализ поведения кварк-глюонной плазмы в гравитационных полях минидыр; поиск и изучение моделей квантовой вселенной и т. д. Наблюдается удивительный эффект: современная космология может помочь решить фундаментальные проблемы теоретической физики, проверить саму физику, экстраполируемую на космологические масштабы. Более того, физические теории проходят проверку на

«космологическую полноценность»: физическая теория, выдержавшая испытание космологическими тестами, может предсказать новые астрономические объекты, процессы, явления, доступные наблюдательной проверке. Междисциплинарные исследования вселяют надежду на возможное решение космологических проблем в рамках различных теорий, которые непротиворечивым образом пытаются объединить квантовую физику и Общую теорию относительности.

Основные космологические проблемы

Существует ряд научных проблем в космологии, решение которых в будущем оформит онтологические представления о структуре Мироздания. В настоящее время обнаружено, что Метагалактика (часть Вселенной, доступная современным астрономическим методам исследований) расширяется с ускорением. Различные космологические модели, которые основываются на предположении о расширении Метагалактики, сталкиваются с проблемой сингулярности. Далее, существует проблема космического бариогенеза (избыток частиц над античастицами); проблема скрытой массы (темного вещества) – физическая природа ее носителей непонятна; нет одной общепринятой космологической модели, существует несколько типов, в частности, инфляционных моделей². Не решена проблема космологической постоянной, из анализа наблюдений сверхновых типа Ia следует, что вероятность ненулевого значения космологической постоянной близка к единице, следовательно, существует необходимость ее учета при построении космологических моделей. Нет однозначного ответа на вопрос: «Почему полная плотность материи во Вселенной столь близка к критической, так что в целом Вселенная оказывается плоской?»³. Новые расчеты в теоретической физике привели к появлению проблемы космологических моделей с дополнительными измерениями. В.Л.Гинзбург оформил эту проблему в вопросе: «Почему размерность пространства-времени именно четыре?»⁴. Открытие вакуума также ставит ряд новых вопросов в космологии: «Какова природа космического вакуума и его энергии? Почему плотность энергии вакуума имеет именно то значение, которое найдено в наблюдениях? Почему в со-

временную эпоху различные компоненты космической среды имеют разные, но все же близкие по порядку величины наблюдаемые значения плотности энергии? Эти и другие вопросы составляют предмет новейших космологических исследований на переднем крае науки во Вселенной»⁵. Следующая проблема, которая затрагивает как космологию, так и теоретическую физику, – это проблема объединения фундаментальных взаимодействий. Все же следует отметить, что не все разделяют идею о возможном суперобъединении: «Известные сегодня аргументы в пользу существования подобного объединения по существу представляют пожелания иметь красивую картину на малых расстояниях, причем разные авторы понимают желательную красоту по-разному»⁶.

Эволюция Вселенной в свете теории суперобъединения

И.М.Дремин отмечает, что понимание фундаментальных сил и их объединения при очень высоких энергиях и малых расстояниях оказывается кардинально важным для теорий поведения Вселенной как на начальном этапе ее зарождения и развития, так и в настоящее время⁷. И действительно, почему бы не рассматривать эволюцию Вселенной аналогично построению теории объединения электрослабого, сильного и гравитационного взаимодействий при очень больших энергиях? К примеру, И.Л.Розенталь с соавторами свою убежденность в этом обосновывают поведением констант связи электрослабой модели и квантовой хромодинамики⁸. Однако на самом деле эта связь весьма спекулятивна.

Проанализируем эту проблему более подробно. История развития Вселенной – это проблема возникновения её крупномасштабной структуры. Чем ближе мы продвигаемся к сингулярности, тем выше становится температура. Согласно теории великого объединения при чрезвычайно высоких энергиях сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия объединяются; дело в том, что хотя сильные (ядерные) взаимодействия и включены в Стандартную модель, они все-таки не являются составной частью единой теории – они описываются квантовой хромодинамикой. Считается, что при еще более высокой энергии, равной энергии Планка, остальные взаимодействия объединяются с гравитационным. Од-

нако следует отметить, что само требование о том, что существует какая-то энергия, при которой все константы взаимодействий должны сравниваться по величине, является весьма нетривиальным⁹; поиски единой теории сильного и электрослабого взаимодействия опираются на следующую гипотезу: можно построить модель, в которой промежуточные бозоны сильных (глюоны) и электрослабых взаимодействий описывались бы как разные проявления единого векторного поля – фундаментального переносчика взаимодействий. При суперобъединении три фундаментальных взаимодействия объединяются с гравитационным. Отметим, что такое представление является гипотезой, потому что теория великого объединения, объединяющая все фундаментальные взаимодействия, кроме гравитационного, и суперобъединения, объединяющая все взаимодействия, не построена.

Существуют различные подходы к решению сложной задачи объединения фундаментальных взаимодействий. Известно, что Общая теория относительности является несовместимой с принципами квантовой теории и потому не может дать надлежащего описания физических процессов, происходящих при очень малых масштабах расстояний или в течение очень коротких промежутков времени, а потому, чтобы описать такие процессы, требуется теория квантовой гравитации. Последняя – это направление исследований в теоретической физике, целью которого является квантовое описание гравитационного взаимодействия. Эта теория не построена. Основная трудность в её построении, кроме всего прочего, заключается в том, что квантовая механика и Общая теория относительности опираются на разные наборы принципов, исходных идей, разные области применения. Одно из основных направлений, пытающееся воплотить идеи квантовой теории гравитации, – это теория суперструн, которая также находится в стадии разработки.

В случае объединения всех четырех фундаментальных взаимодействий мы бы получили единую теорию, которая представляла бы обобщенную теорию, в которой выполняется принцип соответствия: при некоторых предельных значениях соответствующих характеристических параметров обобщенная физическая теория должна принимать форму тех частных теорий, которые послужили исходными элементами ее обобщения. Многообразные качествен-

ные образования взаимно связаны друг с другом и переходят друг в друга при определенных условиях, то есть единая теория охватывала бы все процессы в природе в единой логической системе.

Теория великого объединения предсказывает нестабильность протона, однако экспериментально это обнаружено не было! Возможность распада протона означает, что барионный заряд не сохраняется строго, что объясняет барионную асимметрию Вселенной, то есть наблюдаемое отсутствие антивещества. До сих пор нет достаточных экспериментальных доказательств существования гравитационных волн, не найден переносчик гравитационного взаимодействия – гравитон. Самое слабое из известных фундаментальных взаимодействий, гравитационное, играет главную роль, когда речь идет о космических масштабах: гравитационные силы всегда складываются, а для того чтобы они стали определяющими, массы тяготеющих тел должны быть огромны. Теория Великого объединения предсказывает также наличие магнитного монополя как реального физического объекта, предсказываемая масса монополя в рамках Теории великого объединения выходит далеко за пределы привычных масштабов физики элементарных частиц: 10^{14} ГэВ¹⁰. Считается, что сверхтяжелые монополи могли бы рождаться естественным образом только на ранней стадии развития Вселенной, вблизи фазового перехода, нарушающего симметрию Великого Объединения, которая существовала в мире при сверхвысоких температурах сразу после Большого Взрыва¹¹. Магнитные монополи до сих пор не обнаружены.

Необходимость построения квантовой теории гравитации

Чтобы обосновать необходимость суперструнного подхода, следует ответить на вопрос: «Так ли уж необходима квантовая теория гравитации»? Целью таковой является квантовое описание гравитации. В ОТО пространство-время является динамическим, а в квантовой физике выступает в качестве фона, потому что вследствие слабости гравитационного взаимодействия в микромире им можно пренебречь. Нерешенных задач в космологии, а в особенности в космологии ранней Вселенной, много, однако можно ли ре-

шить их с помощью квантовой теории гравитации? Под термином ранняя Вселенная понимается период ее существования вплоть до заключительной стадии ускоренного расширения с последующим переходом к горячей фазе эволюции. Параметры Большого взрыва неизвестны, имеются только верхние ограничения, однако существует хорошо разработанная теория генерации космологических возмущений, в соответствии с которой можно рассчитать спектры начальных возмущений плотности вещества и первичных гравитационных волн в зависимости от космологических параметров. Пока не существует общепринятой модели ранней Вселенной, потому что имеются неустойчивости предсказаний инфляционной парадигмы Большого взрыва: близости генерируемых спектров к плоскому виду, относительной малости амплитуды космологических гравитационных волн, трехмерной евклидовости видимой Вселенной и другие, которые могут быть получены в широком классе параметров моделей¹².

Среди особо значимых космологических проблем можно выделить проблему объяснения наблюдаемой однородности и изотропии Вселенной; промежуточная инфляционная фаза расширения не может служить основным механизмом изотропизации, так как наличие подобной фазы нуждается в регулярных начальных условиях. К примеру, первичные неоднородности метрики должны быть сглажены по сравнению с комптоновской длиной, а плотность энергии, запасенная в анизотропии пространства, малой по сравнению с энергией скалярного поля, ответственного за инфляцию. Таким образом, нужно объяснить изотропизацию неоднородной Вселенной. В случае регулярного расширения, когда размер горизонта растет быстрее, чем характерный масштаб неоднородностей метрики, механизм квантовой генерации возмущений из вакуумных флуктуаций сильно зависит от выбора начального квантового состояния, а для вычисления подобных эффектов нужно привлекать теорию квантовой гравитации.

Наличие неустойчивости в квантовой области приводит к отсутствию фонового пространства на начальном этапе эволюции Вселенной, а это значит, что невозможно применять квазиклассические методы в этой области. Под отсутствием фона понимается следующее положение: интенсивность флуктуации метрики и кривизны пространства превышает средние значения, вот почему

возникает необходимость моделирования квантовой динамики неоднородных гравитационных полей; формирование начальных условий для последующей квазиклассической эволюции, развитие непертурбативных методов исследования¹³.

Сам момент Большого взрыва требует объяснения процессов, которые его сопровождали, в том числе и рождение пространства-времени. «Большой взрыв представлял собой катастрофический процесс быстрого расширения, сопровождаемый интенсивным быстропеременным гравитационным полем»¹⁴.

Таким образом, существует область реальности, нуждающаяся в понимании процессов, происходящих в ней. Объяснение этих процессов не укладывается в рамки фундаментальных теорий: Общей теории относительности и квантовой физики. При попытке совместить две эти теории появляются бесконечные последовательности, расходимости в уравнениях гравитационного поля — это один из основных недостатков квантовой теории гравитации, основанной на теории Эйнштейна. Квантовая теория гравитации неперенормируема. Квантование пространства-времени приводит к различным парадоксам, а сама природа этого квантования остается непонятной. «Хотя никакого серьезного оправдания стремлению совместить общую теорию относительности с квантовой механикой пока неизвестно, внимание к этой проблеме не ослабевает. Фактически в большинстве предпринимаемых попыток парадигма квантовой механики считается более ценной, чем идея о геометрии пространства-времени»¹⁵.

Теория суперструн: надежды и поражения

Теория струн позволяет избежать таких трудностей квантовой теории поля, как перенормировка. В суперструнных теориях отсутствуют аномалии, т. е. нарушения на квантовом уровне калибровочной симметрии и лоренц-инвариантности, а также существует возможность устранения расходимостей в теории; следует отметить, что с расходимостью справляются и другие альтернативные теории, в частности теория техницвета. В низкоэнергетическом пределе (10^{19} ГэВ — это максимальный планковский предел)) суперструнные теории переходят в супергравитацию и суперсимме-

тричную теорию Янга-Миллса¹⁶. Струнные теоретики надеются, что можно создать теорию, способную непротиворечивым способом объединить все известные фундаментальные взаимодействия в природе и выступить в роли «теории Всего». Струны возникли в адронной физике как динамическая основа модели Венециано и дуально-резонансных моделей. Как отмечает Нобелевский лауреат по физике С.Вайнберг, «в процессе работы стало ясно, что формула Венециано и ее расширения и обобщения – не просто удачные догадки, а теория физических сущностей нового типа, получивших название релятивистских квантово-механических *струн*. Конечно, обычные струны состоят из частиц: протонов, нейтронов, электронов. Но новые струны совсем другие: предполагается, что протоны и нейтроны состоят *из них*. Дело обстояло не так, будто на кого-то сошло вдохновение и он догадался, что материя построена из струн, а затем начал строить соответствующую теорию; на самом деле теория струн была построена *до того*, как кто-то понял, что это такое»¹⁷. Основу теории струн представляет фундаментальный релятивистский, протяженный, нелокальный объект с характерным размером порядка планковской длины. Теория струн изучает динамику и взаимодействие не точечных частиц, а одномерных протяжённых объектов, таким образом, в теории струн возникает локальная квантовая теория поля, объединяющая гравитацию и поля Янга-Миллса – переносчики всех взаимодействий. В рамках суперструнного подхода находят свое развитие идеи Калуцы-Клейна, «позволяющие закодировать всю структуру модели объединения (калибровочные симметрии, состав полей, константы связи) в геометрических и даже топологических свойствах некоторого многообразия (это известно как формализм “компактификации”)»¹⁸. Таким образом, возродилась противоречащая наблюдениям идея Калуцы-Клейна о том, что пространство-время имеет больше, чем четыре измерения, что получило новое толкование в работах Шерка, Шварца, Креммера в связи со струнными дуальными моделями. Они предложили рассматривать дополнительные измерения как физические, равноправные с наблюдаемыми четырьмя измерениями. Очевидное различие между четырьмя наблюдаемыми и добавочными микроскопическими измерениями было предложено интерпретировать как спонтанное нарушение симметрии вакуума (как результат спонтанной компактификации

дополнительных измерений)¹⁹. Интересным свойством суперструнных теорий является отсутствие в них (т. е. сокращение) калибровочных и гравитационных аномалий. Именно этот факт еще в большей мере повысил интерес к струнным теориям. Аномалии в квантовополевых моделях связаны с нарушением на квантовом уровне классических симметрий (калибровочной инвариантности, лоренцевской инвариантности и т. д.). Гравитационные аномалии свидетельствуют о нарушении на квантовом уровне общей ковариантности теории или же локальной лоренцевской инвариантности. Калибровочные и гравитационные аномалии можно трактовать как нарушение при квантовании соответствующих законов сохранения: закона сохранения калибровочного тока или ковариантного закона сохранения для тензора энергии-импульса²⁰. Аномалии делают теорию несогласованной, так как они ведут к нарушению унитарности за счет взаимодействия физических поперечных мод калибровочного или гравитационного поля с продольными нефизическими модами. В суперструнных теориях, формулируемых в 10-мерном пространстве Минковского, калибровочные, гравитационные и смешанные аномалии возникают в петлевых 6-угольных диаграммах. Сокращение аномалий в суперструнных моделях с группой внутренней симметрии $SO(32)$ было проверено двумя путями: на струнном уровне прямым расчетом шестиугольных струнных диаграмм и в низкоэнергетическом пределе на локальном квантовополеовом уровне. Важным моментом в механизме сокращения аномалий является необходимость модификации обычной $(N=1)$ -супергравитации, взаимодействующей с $(N=2)$ -суперсимметричной теорией Янга-Миллса. Механизм сокращения аномалий, установленный Грином и Шварцем в суперструнной модели, существенно базируется на свойствах группы $SO(32)$. Подобными свойствами обладает еще одна полупростая группа Ли $E_8 \times E_8$. Однако такая калибровочная группа не может быть введена в струнную модель стандартным путем с помощью матричных множителей Чана-Патона. Поэтому была построена новая теория замкнутых струн, которая в низкоэнергетическом пределе сводится к десятимерной $(N=1)$ -супергравитации, взаимодействующей с суперсимметричным полем Янга-Миллса с калибровочной группой $Spin(32)/Z_2$ или $E_8 \times E_8$ (группа $Spin(32)/Z_2$ имеет ту же самую алгебру Ли, что и ортогональная группа $SO(32)$). Эта теория по-

лучила название «гетерозисная струна», она представляет собой киральное объединение: гибрид бозонной релятивистской струны в 26-мерном пространстве-времени и суперструнной модели в 10-мерном пространстве-времени.

Следует также отметить, что теория суперструн, формулируемая сначала в 10-мерном пространстве Минковского, может быть реалистической теорией только в том случае, если в ней происходит динамическая компактификация шести измерений, т.е. вакуумное пространственно-временное многообразие имеет вид $M^4 \cdot K^6$, где M^4 – 4-мерное пространство Минковского, а K^6 – некоторое компактное 6-мерное многообразие. Однако современное состояние суперструнной теории не позволяет получить это утверждение как следствие решения динамических уравнений. Более того, не доказано даже то, что 10-мерное пространство Минковского является решением полной квантовополевой теории суперструн. Поэтому идею о компактификации следует рассматривать пока как гипотезу, которую необходимо будет обосновать в будущем²¹.

При квантовании одна струна представляет собой бесконечную последовательность нормальных мод – последовательность массивных состояний в квантовой теории поля. При этом расщепление масс Δm^2 пропорционально натяжению струны T . В теории суперструны $T \approx (10^{19} \text{ ГэВ})^2$, в отличие от адронной физики, где $T \sim (1 \text{ ГэВ})^2$. Струны бывают открытыми и замкнутыми. Открытые струны в качестве низших безмассовых состояний содержат частицы спина 1: поля Янга-Миллса, а замкнутые – частицы спина 2: гравитоны. На этом пути в теории струны возникает квантовая теория, объединяющая гравитацию и поля Янга-Миллса – переносчики всех взаимодействий. На расстояниях много больше планковской длины (10^{-33} см) или при энергиях много меньше массы Планка массивные состояния отщепляются, и возникает эффективная точечная теория поля (супергравитация и янг-миллсовская суперсимметричная теория) с фиксированными параметрами и составом частиц²².

Однако, несмотря на все свои преимущества и достоинства, теория суперструн остается лишь кандидатом на роль «Теории всего». Дело в том, что в рамках теории суперструн тяжело сделать какое-либо физическое предсказание, существует также важная проблема ее экспериментального подтверждения. Неясен так-

же и физический принцип, лежащий в основе теории суперструн. Возможно, что существует обобщение принципа эквивалентности ОТО в пространстве всех струнных конфигураций, которое приводит к геометрическому описанию суперструн; с этим связано понимание того, как геометрические свойства определяют физику пространства-времени²³.

В развитии теории струн было создано пять различных теорий: типа I, типа IIA и типа IIB, теории гетеротических струн с калибровочными группами $SO(32)$ и $E_8 \times E_8$. В теории суперструн используются S-, T-, U-дуальности²⁴. T-дуальность связывает две различные теории, компактизированные на многообразия большого и малого размера соответственно. Она является непертурбативной по струнному натяжению и пертурбативной в том смысле, что она верна в любом порядке по струнной константе связи. S-дуальность связывает теорию в режиме слабой связи и не может быть проверена по теории возмущений, она требует привлечения непертурбативных объектов. S-дуальность привела к эквивалентности теорий струн: «Чтобы получить какую-нибудь выгоду от S-дуальности, обычно на основании косвенных аргументов (анализ BPS-состояний, низкоэнергетическое описание) предполагают существование дуальности. Далее, исходя из этого предположения, уже получают все “точные” результаты. Но необходимо отметить, что S-дуальности остаются всего лишь предположением!»²⁵. U-дуальность образуется действием S- и T-дуальности, так как S- и T-дуальности не коммутируют друг с другом. Таким образом, даже замечательная идея дуальностей в теории суперструн является гипотезой.

А.Ю.Морозов отмечает, что главным недостатком, унаследованным от любых «дострунных» подходов к объединению взаимодействий, является отсутствие селективности: «Струнных моделей объединения оказывается ничуть не меньше, чем обычных, – сохраняется практически неограниченный произвол в выборе калибровочной группы, состава (струнных) полей и т. д. С другой стороны, основным стимулом поиска Великого объединения является вера в существование истинно фундаментальной, единственно правильной “теории всего”, свободной от какого-то ни было произвола (хотя с этим могут не согласиться, например, приверженцы антропного принципа)»²⁶.

Согласно теории суперструн, существуют дополнительные измерения, кроме наблюдаемых, а сама четырехмерная Вселенная является браной, погруженной в пространство-время большей размерности. Любые попытки включить современную космологию в фундаментальную физическую теорию высоких энергий приводят к идее многомерного пространства-времени. Детали погружения и взаимодействия браны с возможными другими бранными мирами определяет эволюцию нашей Вселенной²⁷. Считается, что мотивацией к введению дополнительных измерений является проблема иерархии в физике высоких энергий и космологии. Эта проблема состоит в наличии огромной «энергетической пустыни» между масштабом электрослабого взаимодействия порядка 1 ТэВ и планковским масштабом квантовой гравитации 10^{19} ГэВ. А.О.Барвинский отмечает, что эта проблема в космологическом контексте приобретает острый характер, так как отражает колоссальный разрыв в 120 порядков величины между квантово-гравитационным масштабом и масштабом величины наблюдаемой космологической постоянной²⁸.

Однако следует отметить, что многомерность мира возникает не только в рамках теории суперструн, к примеру, и в космологической модели хаотической инфляции, которая предполагает существование бесконечного числа вселенных, которые возникают в скалярном поле в разных областях. Существует также интересная гипотеза о том, что имеются пространственно-временные туннели – кротовые дыры, которые сохраняются после инфляции, «связывая различные области нашей и других вселенных, что открывает уникальную возможность исследования многоэлементной Вселенной и обнаружения нового типа объектов – входов в тоннели»²⁹. «Кротовая нора – это гипотетический объект, описываемый не-сингулярным решением уравнения Эйнштейна с двумя большими (либо бесконечными) областями пространства-времени, связанными горловиной. Рассматриваемые две большие области пространства-времени могут лежать в одной и той же Вселенной или даже принадлежать разным вселенным в модели мультивселенной»³⁰. Однако кротовые норы остаются неподтвержденной гипотезой.

Согласно теории суперструн, при высоких температурах спонтанно нарушенная симметрия восстанавливается. Поэтому, исходя из идеи о спонтанной компактификации в экстремальных услови-

ях раннего этапа развития Вселенной, пространство-время имеет свои истинные 10 (или 11) измерений. Затем происходит компактификация во все возможные вакуумные решения. В результате могут образовываться «острова», в которых пространство-время может иметь разную топологию, разную размерность и разную сигнатуру. Не исключены туннельные переходы и образование пузырьков одного вакуума в другом вакууме³¹.

Как решаются / не решаются космологические проблемы в теории струн

Проанализируем две космологические модели, сконструированные в рамках теории суперструн. Рассмотрим первую модель – предвзрывной сценарий. В этой модели принцип Т-дуализма объединяется с Т-симметрией («симметрия по отношению к обращению времени») – это симметрия уравнений, описывающих законы физики, по отношению к операции замены времени t на $-t$ (то есть к обращению времени), таким образом, физические уравнения можно записать независимо от направления времени. «Такая комбинация позволяет говорить о новых возможных вариантах космологии, в которых Вселенная, скажем, за 5 с *до* Большого взрыва расширялась с такой же скоростью, как и через 5 с *после* него»³². Согласно этой модели, Большой взрыв, возможно, был не моментом возникновения Вселенной, а просто внезапным переходом от ускорения к замедлению. Вселенная должна была пройти период ускорения, чтобы стать однородной и изотропной. В инфляционной модели ускорение после Большого взрыва происходит под действием введенного специально для этой цели инфлатона. В предвзрывном сценарии оно происходит перед взрывом как естественное следствие новых видов симметрии в теории струн. В соответствии с такой моделью Вселенная перед Большим взрывом была почти идеальным зеркальным изображением самой себя после него. Если Вселенная безгранично устремляется в будущее, то она также бескрайне простирается и в прошлое. Сначала Вселенную заполнял разреженный, хаотический газ из излучения и вещества, силы, управляемые дилатоном (дилатон относится к скалярному полю, которое появляется в теории Калуцы-Клейна),

были настолько слабы, что частицы этого газа практически не взаимодействовали друг с другом. Потом силы возрастали и стягивали материю воедино, случайным образом материя скапливалась в некоторых участках пространства. Там ее плотность становилась настолько высокой, что начали образовываться черные дыры. Вещество внутри таких областей оказывалось отрезанным от окружающего пространства, т. е. Вселенная разбивалась на обособленные части. Падающая в черную дыру материя, приближаясь к центру, становится все более плотной. Но, достигнув максимальных значений, допускаемых теорией струн, плотность, температура и кривизна пространства-времени внезапно начинают уменьшаться: происходит Большой взрыв. Внутренность одной из описанных черных дыр и стала нашей Вселенной.

Другая модель, подразумевающая существование Вселенной до Большого взрыва, называется экпиротическим сценарием, она разработана Джастином Каури, Полом Штейнхардтом, Бартом Оврутом, Натаном Зейбергом, Нейлом Тьюроком. Согласно этому сценарию, наша Вселенная – одна из многих D-мембран, дрейфующих в многомерном пространстве. Мембраны притягиваются друг к другу, а когда они сталкиваются, в них может произойти то, что мы называем Большим взрывом. Две мембраны могут сталкиваться, отскакивать друг от друга, расходиться, притягиваться одна к другой, снова соударяться и так далее; расширение Вселенной может указывать на предстоящее столкновение мембран³³.

Наблюдаемая четырехмерная Вселенная в бранной космологии представляет собой брану, погруженную в пространство-время большей размерности: «наш низкоэнергетический мир представляет собой четырехмерную брану, погруженную в многомерный объем с макроскопическими дополнительными измерениями. Детали этого погружения и взаимодействия браны с возможными другими бранными мирами определяет эволюцию Вселенной»³⁴. Оказалось, что в рамках бранной концепции дополнительные измерения открывают новые перспективы решения проблемы иерархии: изменить границы «энергетической пустыни» между электро-слабым взаимодействием и планковской гравитационной физикой, установить более глубокую связь с теорией струн в лице так называемого **AdS/CTF-соответствия (статус этого принципа и пределы применимости не прояснены!)**³⁵, построить новые механизмы

инфляции в ранней Вселенной и, наконец, предложить модели решения проблемы космологической постоянной, включающей как иерархию, так и ускорение³⁶.

Следует отметить, что в струнных космологических сценариях не решена проблема перехода от состояния перед Большим взрывом к стадии после него, также существуют многочисленные трудности математического характера. В предвзрывном сценарии за выравнивание распределения флуктуации отвечает аксион – квантовое поле, связанное с дилатоном (аксион был введен для того, чтобы решить проблему натурального сохранения СР-четности в сильном взаимодействии). «Стандартный» аксион является псевдоскалярной хиггсовской частицей с массой порядка несколько сотен кэВ, однако существование стандартного аксиона было опровергнуто в ряде экспериментов: отсутствие 2γ -событий от распада аксионов вблизи работающего реактора в Юлихе полностью противоречит предсказаниям теории³⁷. Надежды, связанные с тем, что струнные космологические сценарии могут быть проверены «артефактами», оставшимися после Большого взрыва (например, небольшие вариации температуры реликтового излучения), также не обоснованы, так как подобного рода «артефакты» могут подтверждать и другие космологические сценарии, например, инфляционные.

Разработка многомерных теорий продолжается, к примеру, модель скалярно-тензорной гравитации Бранса-Дикке используется в различных космологических моделях. Многомерные теории берут начало от работ Аркани-Хамеда-Димопулоса-Двали, основанных на больших дополнительных измерениях, а также модели Рэндалл-Сундрума, в которых метрика не факторизуется (не соответствует произведению пространства Минковского и дополнительного измерения), а ее структура ведет к экспоненциальной иерархии между электрослабым и планковским масштабами. Эти теории предсказывают проявление сильного гравитационного взаимодействия в многомерном пространстве уже не при планковских энергиях, а при энергиях несколько ТэВ, а потому гравитационные эффекты можно будет наблюдать на современных суперускорителях. Но так как эти теории не требуют струнного описания, то в случае обнаружения дополнительных измерений на БАК это не подтвердит теорию суперструн³⁸. Таким

образом, конструировать многомерную космологию можно, не прибегая к теории суперструн, если ставить задачу построения дополнительных измерений³⁹.

Положительным аспектом теорий в рамках инфляционных моделей на бране является следующий: не возникают такие космологические дефекты, как монополи и доменные стеки, но должны возникать космологические струны вплоть до конца инфляционной стадии, однако присутствие дополнительных измерений приводит к тому, что часть таких дефектов нестабильна и быстро рассеивается, а сечение взаимодействия оставшихся дефектов становится очень малым. «Таким образом, – заключает Розенталь, – в настоящий момент времени самыми многообещающими с точки зрения соответствия наблюдательным данным являются, как ни странно, именно и модели, включающие в себя представления о “мире на бране”»⁴⁰.

Бранные модели, если и решают космологические проблемы, то за счет введения дополнительных измерений, что на сегодняшний момент является неподтвержденной гипотезой. Более того, бранные космологические модели можно построить, не прибегая к «суперструнному» подходу.

Существенный недостаток всех струнных моделей – так называемый ландшафт теории струн: существование в теории струн огромного числа (10^{100} – 10^{5000}) ложных вакуумов. Такое количество ложных вакуумов объясняется свободой выбора пространств Калаби-Яу, отвечающих за компактификацию дополнительных измерений в теории струн. У суперструнного подхода существует широкий диапазон альтернатив, широкий спектр возможностей в неструнных космологических моделях. М-теория допускает бесконечное множество различных решений, которые приводят к слишком большим значениям плотности энергии вакуума. Но есть и такие, при которых она оказывается достаточно малой, чтобы согласовать ее с результатами космологических наблюдений⁴¹. Таким образом, не существует единой и согласованной струнной космологической модели.

В теории суперструн не решена проблема космологической постоянной. Проблема усугубляется тем, что она в теории суперструн «оказывается слишком большой, в 10^{120} раз больше, чем нужно»⁴². Астрономические наблюдения указывают на то, что кос-

мологическая постоянная очень мала. При ненарушенной суперсимметрии космологическая постоянная в точности равна нулю, однако нарушение суперсимметрии приводит к слишком большому ее значению. Кэлеровский потенциал и суперпотенциал – класс кэлеровских потенциалов и суперпотенциалов в широком диапазоне параметров дают равновесную конфигурацию скалярных полей, для которой $V=0$ (потенциал скалярного поля), даже если при этом суперсимметрия и нарушена, однако не факт, что эти структуры сохраняются в высших порядках возмущений, да и физический смысл их неясен⁴³.

**Эксперименты на Большом адронном коллайдере:
решат ли они проблемы теории суперструн?
Роль бозона Хиггса**

Бозон Хиггса представляет собой теоретически предсказанную элементарную частицу, квант поля Хиггса, которая возникает в Стандартной Модели вследствие хиггсовского механизма спонтанного нарушения электрослабой симметрии. Таким образом, согласно Стандартной модели, существует еще одно поле; считается, что все пространство заполнено этим полем и что частицы приобретают массу путем взаимодействия с ним. Хиггсовские бозоны связаны с концепцией происхождения масс элементарных частиц. Отметим, что 4 июля 2012 года представители ЦЕРНа сообщили, что на обоих основных детекторах БАК наблюдалась новая частица с массой около 125 ГэВ. Физики с осторожностью заявляют: есть веские основания считать, что эта частица является бозоном Хиггса⁴⁴.

Удачные поиски Хиггса на Большом адронном коллайдере подтвердят теорию электрослабых взаимодействий, проверят концепцию спонтанно нарушенной калибровочной инвариантности. Теория электрослабого взаимодействия вместе с квантовой хромодинамикой образуют Стандартную Модель физики элементарных частиц. Стандартная Модель физики элементарных частиц фактически является низкоэнергетическим пределом теории суперструн, которая также включает суперсимметрию. В суперсимметричных теориях удастся избежать одной из самых значительных

трудностей обычной теории электрослабого взаимодействия. Дело в том, что в обычных, не суперсимметричных концепциях масса хиггсовского бозона квадратично расходится. В суперсимметричных теориях происходит естественное сокращение вклада в массу хиггсовских бозонов фермионных и бозонных степеней свободы, а поскольку это сокращение носит групповой характер, оно остается справедливым во всех порядках теории возмущений. Так как генераторы суперсимметрии не несут внутренних квантовых чисел, ни одна пара фермион + бозон из обычных частиц не попадает в один супермультиплет, и каждая из обычных частиц должна быть дополнена суперсимметричным партнером⁴⁵. Однако следует отметить, что с расходимостью справляются и другие альтернативные теории, в частности, теория техницвета: другая интересная возможность избежать проблемы квадратичной расходимости в массе скалярных частиц состоит в предположении динамического спонтанного нарушения калибровочной $SU(2) \times U(1)$ -симметрии, подобного нарушению киральной симметрии в КХД. Такие модели получили название теорий «техницвета». Таким образом, если и будет «найдена» суперсимметрия на коллайдере, то это будет лишь очень (!) косвенным доказательством истинности теории суперструн, то же самое касается и обнаружения других измерений: дополнительные пространственные измерения, если они проявятся при энергиях, доступных БАК, также не смогут подтвердить теорию суперструн, потому что независимо от нее наличие дополнительных измерений присутствует и в других теориях: Калуцы-Клейна, теории супергравитации и суперсимметрии и различных многомерных моделях Вселенной.

Парадоксы и противоречия в теории суперструн

Несмотря на обилие научных исследований и защищенных диссертаций в области теории суперструн, определенная группа физиков подвергает сомнению результаты, полученные в рамках теории струн⁴⁶. Основной постулат последней основан на идее универсального описания мира в рамках объединяющей все взаимодействия теории. К.Поппер отмечает, что стремление к универсализму можно проследить на протяжении всей эволюции физи-

ки: «В эволюции физики можно обнаружить нечто вроде общего направления – от теорий более низкого уровня универсальности к теориям более высокого уровня универсальности»⁴⁷. В ходе развития науки постоянно выдвигаются все новые и новые предположения или теории всех возможных уровней универсальности. Что наиболее существенно характеризует науку? К.Поппер утверждает, что именно непрерывный рост научного знания является существенным для науки. Способ роста делает ее рациональной и эмпирической. Как происходит рост научного знания? По мнению К.Поппера, ученые проводят различия между существующими теориями и выбирают лучшую из них или, если нет удовлетворительной теории, выдвигают основания для отклонения всех имеющихся, формулируя некоторые условия, которым должна удовлетворять приемлемая теория⁴⁸. В качестве альтернатив теории суперструн можно назвать теории супергравитации и др., которые, как и сама теория суперструн, находятся в стадии разработки и становления, а потому не могут считаться более обоснованными.

По мнению К.Поппера, существуют объективные и субъективистские теории научного познания: объективные, логические и онтологические теории постулируют истину как соответствие фактам, требуют наличия объективной вероятности; а также субъективные, психологические или эпистемологические теории, полагающие, что истина – это свойство нашего мышления, знания или веры, принимающие субъективную вероятность. К.Поппер полагает, что «следует также решительно отвергнуть субъективистский подход как ошибку, хотя, быть может, в чем-то и соблазнительную ошибку»⁴⁹. В основе научной теории, по К.Попперу, должны лежать следующие требования: истина, проверяемость, объяснительная и предсказательная сила, правдоподобность, предположение, эмпирическая проверка, степень подкрепления, т. е. фиксация результатов проверок. Отсутствие предсказательной силы и степени подкрепления, эмпирической проверки при наличии объяснительной силы и правдоподобности придают теории суперструн статус промежуточного образования между объективными и субъективистскими теориями. Именно в таком «пограничном» состоянии и развивается теория суперструн. Как К.Поппер видит рождение проблемной ситуации в науке? Он полагает, что перед ученым стоит научная проблема:

он хочет найти новую теорию, способную объяснить определенные экспериментальные факты, а именно, успешно объясняемые прежними теориями, факты, которых эти теории не могли объяснить и с помощью которых они были в действительности фальсифицированы. Новая теория должна также разрешить, если это возможно, некоторые теоретические трудности: как избавиться от некоторых гипотез *ad hoc* или как объединить две теории. Если ученому удастся создать теорию, разрешающую все эти проблемы, его достижение будет весьма значительным.

Реконструируем становление научной проблемы в теории суперструн. Истоки своих идей суперструнные теоретики находят в работах А.Эйнштейна, в которых он пытался создать теорию объединения. Таким образом, факт становления научной проблемы имеет теоретический, а не экспериментальный фундамент (научная проблема в теории суперструн родилась не из-за экспериментальных данных, которые требуют своего обоснования). «Последние тридцать лет своей жизни Альберт Эйнштейн провел в неустанном поиске так называемой единой теории поля – теории, которая смогла бы объединить все взаимодействия, существующие в природе, в единую, всеобъемлющую и непротиворечивую систему. Мотив, лежащий в основе его поиска, не был связан напрямую с тем, что мы обычно подразумеваем под научной деятельностью, например, с попыткой объяснить те или иные конкретные экспериментальные данные. Им двигала страстная вера в то, что достигнув глубочайшего понимания мироздания, мы сможем проникнуть в его самую сокровенную тайну – простоту и мощь принципов, лежащих в его основе. Эйнштейн хотел раскрыть устройство Вселенной с доселе неведомой ясностью, заставив нас застыть в благоговейном изумлении перед ее совершенной красотой и элегантностью»⁵⁰. Эйнштейн не смог осуществить свою мечту, однако «в течение последнего полувека физики все новых и новых поколений, добиваясь успехов и терпя неудачи, временами попадая в тупики, продолжали, основываясь на открытиях своих предшественников, добиваться все более полного понимания принципов устройства мироздания. И вот теперь, спустя много лет после того, как Эйнштейн объявил о своем походе на поиски единой теории, из которого он вернулся с пустыми руками, физики считают, что они смогли, наконец, выработать теорию,

связывающую все эти догадки в единое целое, – единую теорию, которая в принципе способна объяснить все явления. Эта теория, теория суперструн, и является предметом данной книги»⁵¹. Таким образом, фундаментальная идея теории суперструн родилась в теоретических попытках найти универсальное описание природы, вместо того чтобы, следуя логике и росту научного знания, обращаться к проблемам, порожденным необъяснимыми фактами (например, темной материей).

Проанализируем следующее требование, которое выдвигает К.Поппер к теории, – требование простоты. Согласно Попперу, необходима простая, новая, плодотворная и объединяющая идея относительно некоторой связи или отношения (такого, как гравитационное притяжение), существующего между до сих пор не связанными вещами (такими, как планеты и яблоки), или фактами (такими, как инерционная и гравитационная массы), или новыми теоретическими сущностями (такими, как поля и частицы). «Это требование простоты основано на том, что теории должны описывать структурные свойства мира. Однако одну важную составную часть идеи простоты можно анализировать логически – это идея проверяемости, которая приводит непосредственно к нашему второму требованию»⁵². Второе требование, которое Поппер выдвигает к теории, – требование проверяемости. Это означает, «что независимо от объяснения всех фактов, которые была призвана объяснить новая теория, она должна иметь новые и проверяемые следствия (предпочтительно следствия нового рода), она должна вести к предсказанию явлений, которые до сих пор не наблюдались»⁵³. Теория суперструн описывает структурные свойства мира, однако требование простоты в этом описании не соблюдается. Они находятся на пределе возможного эксперимента подтверждения (размер струны равен планковской длине). Теория суперструн не проверяема, не ведет к предсказаниям явлений, которые до сих пор не наблюдались, за что критикуется Ли Смолином и другими физиками, настроенными скептически по отношению к теории суперструн. Даже наличие так называемых параллельных вселенных и скрытых измерений, о которых постулирует теория суперструн, не может стать ее экспериментальным подтверждением в случае обнаружения этих самых измерений, т. к. эти идеи независимо от теории суперструн выдвигают и другие физико-математические теории.

Согласно К.Попперу, требование простоты очень важно, потому что теория, не выполняющая его, могла быть теорией *ad hoc*, так как всегда можно создать теорию, подогнанную к любому данному множеству фактов. Таким образом, применяя принцип простоты, можно ограничить выбор возможных решений. Что касается теории суперструн, то она находится в невообразимо большом количестве разных суперструнных теорий, что позволило Ш.Л.Глэшу называть ученых, работающих в области теории суперструн, «запутавшихся в струнах»⁵⁴.

Таким образом, теория суперструн не приводит к новым экспериментам, а научное знание в ее рамках не будет возрастать благодаря неожиданным результатам новых экспериментов. К тому же она не сможет поставить перед наукой новые проблемы, которые должны быть решены новыми теориями.

Рассмотрим третье требование, которое выдвигает Поппер к теории: теория должна выдерживать некоторые новые и строгие проверки. Выполнение же или невыполнение третьего требования можно обнаружить лишь путем эмпирической проверки новой теории⁵⁵. Это требование ввиду «эмпирической невесомости» теории суперструн не выполняется. Однако, учитывая трудности экспериментальной проверки, Поппер отмечает, что третье требование не может быть необходимым в том же самом смысле, в каком нужны два предыдущих. Эти требования необходимы для решения вопроса о том, имеем ли мы вообще основания считать, что обсуждаемая теория может быть рассматриваема как серьезный кандидат для эмпирической проверки, или, иными словами, для решения вопроса о том, является ли она интересной и многообещающей теорией⁵⁶.

Согласно К.Попперу, утверждения или системы утверждений сообщают информацию об эмпирическом мире, только если они способны приходить в столкновение с опытом (систематически проверяться, могут быть подвергнуты испытаниям, которые могут иметь результатом их опровержение) – это основная идея принципа фальсификации. Таким образом, теория, которую нельзя опровергнуть каким бы то ни было постижимым событием, ненаучна. Однако в теории струн складывается следующая ситуация: каким бы ни был наш макроскопический мир, всегда найдутся описывающие его параметры суперструнной теории вариантов устрой-

ства нашего мира, а возникающий при этом антропный принцип не является веским обоснованием проблемы ландшафта в теории суперструн⁵⁷. Таким образом, теория суперструн также не удовлетворяет принципу фальсификации.

Заключение

Современная космология при изучении Вселенной акцентирует внимание не только на ее физико-геометрических свойствах, она тесно сотрудничает с физикой элементарных частиц. Научная деятельность современных космологов связана с решением задач на стыке теоретической физики элементарных частиц, астрофизики и космологии. И в этом есть существенная необходимость: существует область действительности, где требуются усилия как квантовой физики, так и теории гравитации, это прежде всего ранняя Вселенная, черные дыры и т. д.

Космология служит фундаментальным ключом к пониманию сложнейших процессов как в микро-, так и макромире, подтверждая или опровергая многие идеи, которые получаются в недрах теоретической физики. Представления, рождающиеся на стыке исследований космологии и физики элементарных частиц, оформляют важнейшие онтологические характеристики, связанные с пониманием пространства-времени, материи, реального и мнимого, запредельного, по-новому позволяют посмотреть на вопросы: «Каков глубинный онтологический смысл фундаментальной связи между человеком и миром?», «Какова структура мира?» Не все космологические проблемы и вопросы можно решить в русле междисциплинарных исследований, что стимулирует развитие новых научных направлений и теорий, в том числе основанных на идее объединения всех фундаментальных взаимодействий. Однако теория Великого объединения, включающая все взаимодействия, кроме гравитационного, и теория суперобъединения, объединяющая все известные в природе взаимодействия, не являются теориями в строгом смысле этого понятия – это всего лишь некий комплекс идей и предположений. Мысль о том, что существует какая-то энергия, при которой все константы взаимодействий должны сравниваться по величине, является неподтвержденной гипотезой, а

потому необоснованно рассматривать эволюцию Вселенной с позиций теории суперобъединения, не решив методологических проблем и парадоксов в самой теории. Также неизвестно, являются ли переносчики фундаментальных взаимодействий проявлением какого-то единого взаимодействия. Действительно, существует область реальности, нуждающаяся в объяснении процессов, которые нельзя объяснить в рамках фундаментальных теорий: общей теории относительности и Стандартной модели физики элементарных частиц. Однако из этого факта вовсе не следует, что существует необходимость в построении именно квантовой теории гравитации. Возможно, необходима какая-то третья теория; квантование пространства-времени неизбежно приводит к парадоксам: общая теория относительности является несовместимой с принципами квантовой теории; неясно, почему существует «энергетическая пустыня» между масштабом электрослабого взаимодействия и планковским масштабом квантовой гравитации. Так стоит ли объединять «необъединяемое»?

В заключение также выделим узловые точки решения /не решения космологических проблем в теории суперструн. Сингулярность. В рамках квантовой теории гравитации получается, что в точке сингулярности температура и плотность обращаются в бесконечность. В теории суперструн «снимается» проблема сингулярности за счет того, что размер Вселенной не равен нулю⁵⁸. Таким образом, решается проблема с расходимостью, но этот результат нельзя считать особенным, потому что с расходимостью справляются другие альтернативные теории. Следует отметить, что существует ряд классических космологических сценариев, позволяющих избежать сингулярности. Количество измерений пространства-времени, получаемое в рамках теории суперструн, противоречит здравому смыслу (спонтанная компактификация дополнительных измерений является только гипотезой)⁵⁹. Однако при этой гипотезе «решается» проблема бариосинтеза и темной материи путем введения дополнительных измерений пространства-времени.

В теории суперструн не существует одной общепринятой космологической модели, не решена проблема с космологической постоянной (ее величина расходится с наблюдаемой). Непосредственно в самой теории суперструн существует произвол

в выборе калибровочной группы, проблемы с константами, удачная в математическом смысле идея «дуальности» также являются лишь гипотезой. Отсутствует экспериментальное подтверждение теории, она не верифицируема! Для ее экспериментального подтверждения нужно построить ускоритель размером с галактику Млечный путь, только в таком случае мы достигнем необходимых энергий. Однако в связи с тем, что при таких энергиях рождалась наша Вселенная, неизвестно, к чему приведет подобный эксперимент. Существенный недостаток всех струнных моделей – «ландшафт теории струн» – не позволяет также фальсифицировать теорию.

Многие исследователи возлагают надежду на Большой адронный коллайдер и возможность обнаружения с помощью него суперпартнеров каких-либо из известных элементарных частиц. Однако если и будет «найдена» суперсимметрия на коллайдере, то это будет лишь очень (!) косвенным доказательством истинности теории суперструн. Если же дополнительные пространственные измерения проявятся при энергиях, доступных БАК, они также не смогут подтвердить теорию суперструн, т. к. наличие дополнительных пространственных измерений постулируется и другими теориями и концепциями. Не будет прямым подтверждением теории суперструн (по той же причине) обнаружение различных артефактов, доставшихся нам от Большого взрыва, так как она не дает каких-то особенных предсказаний, которые бы отличались от других альтернативных моделей.

Примечания

- ¹ Турсунов А. Космология и философия. М., 1977.
- ² Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д. Космология и физический вакуум. М., 2006. С. 79.
- ³ Гинзбург И.Ф. Нерешенные проблемы фундаментальной физики // Успехи физ. наук. 2009. Т. 179. № 5. С. 528.
- ⁴ Там же.
- ⁵ Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д. Космология и физический вакуум. С. 122.
- ⁶ Гинзбург И.Ф. Нерешенные проблемы фундаментальной физики С. 528.
- ⁷ Дремин И.М. Физика на Большом адронном коллайдере // Успехи физ. наук. 2009. Т. 179. № 6. С. 571–579.

- 8 *Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д.* Космология и физический вакуум. С. 22.
- 9 *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. М., 2004. С. 127.
- 10 *Долгов А.* Магнитный монополь после юбилея / А.Долгов // Успехи физ. наук. 1984. Т. 144. Вып. 2. С. 341–346.
- 11 Там же.
- 12 *Лукаш В.Н., Михеева Е.В.* Темная материя: от начальных условий до образования структуры Вселенной // Успехи физ. наук. 2007. Т. 177. № 9. С. 1025.
- 13 *Кириллов А.А.* Неоднородные модели ранней Вселенной: Автореф. дис... д-ра. физ.-мат наук. Ульяновск, 2006.
- 14 *Лукаш В.Н., Михеева Е.В.* Темная материя: от начальных условий до образования структуры Вселенной. С. 1025.
- 15 *Морозов А.Ю.* Теория струн – что это такое? // Успехи физ. наук. 1992. Т. 162. № 8. С. 89.
- 16 *Барбашиов Б.М., Нестеренко В.В.* Суперструны – новый подход к единой теории фундаментальных взаимодействий // Успехи физ. наук. 1986. Т. 150. Вып. 4. С. 489–524.
- 17 *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. М., 2004. С. 167.
- 18 *Морозов А.Ю.* Теория струн – что это такое? С. 88.
- 19 *Арефьева И.Я., Волович И.В.* Суперсимметрия: теория Калуцы–Клейна, аноталии, суперструны // Успехи физ. наук. 1985. Т. 146. Вып. 4. С. 656.
- 20 *Барбашиов Б.М., Нестеренко В.В.* Суперструны – новый подход к единой теории фундаментальных взаимодействий. С. 512.
- 21 Там же. С. 517.
- 22 *Барвинский А.О.* Космологические браны и макроскопические дополнительные измерения // Успехи физ. наук. 2005. Т. 175. № 6. С. 564.
- 23 *Морозов А.Ю.* Теория струн – что это такое? С. 84–175.
- 24 *Гуков С.Г.* Введение в струнные дуальности // Успехи физ. наук. 1998. Т. 168. № 7. С. 705–717.
- 25 Там же. С. 714.
- 26 *Морозов А.Ю.* Теория струн – что это такое? С. 88.
- 27 *Барвинский А.О.* Космологические браны и макроскопические дополнительные измерения. С. 570–601.
- 28 Там же. С. 570.
- 29 *Новиков И.Д., Кардашев Н.С., Шацкий А.А.* Многокомпонентная Вселенная и астрофизика кротовых нор // Успехи физ. наук. 2007. Т. 177. № 9. С. 1017.
- 30 *Шацкий А.А., Новиков И.Д., Кардашев Н.С.* Динамическая модель кротовой норы и модель Мультивселенной // Успехи физ. наук. 2008. Т. 178. № 5. С. 481.
- 31 *Арефьева И.Я., Волович И.В.* Суперсимметрия: теория Калуцы–Клейна, аноталии, суперструны // Успехи физ. наук. 1985. Т. 146. Вып. 4. С. 664.
- 32 *Венециано Г.* Миф о начале времен // В мире науки. 2004. № 8. С. 35.
- 33 Там же.

- 34 *Барвинский А.О.* Космологические браны и макроскопические дополнительные измерения. С. 581.
- 35 Там же.
- 36 Там же. С. 582.
- 37 *Анесельм А.А., Уральцев Н.Г., Хозе В.А.* Хиггсовские частицы // Успехи физ. наук. 1985. Т. 145. Вып. 2. С. 210.
- 38 *Дмитриев В.В.* Гравитационные эффекты в мире на бране: Дис... канд. физ.-мат. наук. М., 2006.
- 39 *Жук О.* Багатовимірна класична і квантова космологія: Автореф. дис... д-ра фіз.-мат. наук. Київ, 1999.
- 40 *Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д.* Космология и физический вакуум. С. 114.
- 41 *Гросс Д.* Грядущие революции в фундаментальной физике // Элементы большой науки (<http://elementy.ru/lib/430177>).
- 42 Там же.
- 43 *Вайнберг С.* Проблема космологической постоянной (Лекции имени Мориса Леба по физике в Гарвардском университете 2, 3, 5 и 10 мая 1988 г. Август 1989 г. // Успехи физ. наук. 1989. Т. 158. Вып. 4. С. 649.
- 44 CERN experiments observe particle consistent with long-sought Higgs boson // CERN press office (<http://press.web.cern.ch/press-releases/2012/07/cern-experiments-observe-particle-consistent-long-sought-higgs-boson>).
- 45 *Анесельм А.А., Уральцев Н.Г., Хозе В.А.* Хиггсовские частицы. С. 209.
- 46 *Глэшоу Ш.Л.* Очарование физики. Ижевск, 2002.
- 47 *Поннер К.* Логика и рост научного знания. М., 1983. С. 223.
- 48 Там же. С. 325.
- 49 Там же. С. 324.
- 50 *Грин Б.* Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. М., 2007. С. 4.
- 51 Там же.
- 52 *Поннер К.* Логика и рост научного знания. С. 365.
- 53 Там же.
- 54 *Глэшоу Ш.Л.* Очарование физики.
- 55 *Поннер К.* Логика и рост научного знания. С. 365.
- 56 Там же. С. 367.
- 57 *Blumenhagen R.* Basic Concepts of String Theory (Theoretical and Mathematical Physics). Springer, 2012.
- 58 *Ibáñez L.* E.String Theory and Particle Physics: An Introduction to String Phenomenology. Cambridge Univ. Press, 2012.
- 59 *Green M.* Superstring Theory: 25th Anniversary Edition (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) (Vol. 1, 2). Cambridge Univ. Press, 2012.

Р.М. Нугаев

Теория суперструн и проблема размерности пространства-времени в современной космологии

Судя по публикациям, проблему размерности пространства-времени принято относить к «золотому фонду» современной космологии. В частности, ответ на вопрос: «Какова размерность пространства-времени?» — оказался в космологии среди аргументов, которые должны были продемонстрировать теоретически-прогрессивный рост фридмановской научно-исследовательской программы, обусловленный выдвижением инфляционных сценариев. Так, в своем классическом обзоре «Раздувающаяся Вселенная» (1984) Андрей Линде упоминает в качестве «моментов теории горячей Вселенной, вызывающих сомнения и вопросы», наряду с проблемами сингулярности, плоскостности, крупномасштабной однородности и изотропности горизонта, образования галактик, барионной асимметрии, доменных стенок, реликтовых монополей, реликтовых гравитино и выбора вакуума **также и проблему размерности пространства** (проблема № 11 в списке А.Линде).

Действительно, «вопрос о том, почему наше пространство четырехмерное, некоторое время назад мог показаться довольно бессмысленным и схоластическим. Однако сейчас все более популярными становятся теории типа Калуцы–Клейна, в которых предполагается, что наше пространство имеет размерность $D \geq 4$, но $D - 4$ размерности спонтанно компактифицировались, т. е. радиус кривизны в соответствующих направлениях стал порядка M_p^{-1} . Поэтому мы и не можем двигаться в этих направлениях, и пространство кажется нам четырехмерным. Теории такого рода сейчас

интенсивно развиваются, особенно в связи с теорией расширенной супергравитации, которую оказалось исключительно удобно формулировать в пространствах с $D=10$ или $D=11$. Один из вопросов, которые возникают в этой связи, – почему скомпактифицировались именно

$D = 4$ размерности, а не $D = 5$ или $D = 3$?»¹.

Согласно А.Д.Линде, одна из возможностей ответа на последний вопрос обусловлена «островной структурой Вселенной», которая следует из инфляционной модели. В силу того, что компактификация в различных областях Вселенной идет независимо, размерность пространства после нее может оказаться в них различной. Если в это время осуществлялось раздувание Вселенной, то после него наша Вселенная оказывается разбитой на много мини-вселенных разной размерности, в том числе и размерности 4. Но, в силу приводимых ниже аргументов, условия, необходимые для существования земной жизни, могут осуществляться лишь в четырехмерном пространстве-времени.

Действительно, с одной стороны, согласно Паулю Эренфесту, в пространствах размерности больше 4 гравитационное и электростатическое напряжения настолько быстро убывают с расстоянием, что не могут привести к созданию связанных состояний, подобных планетным системам или даже атомам.

С другой стороны, в пространствах размерности меньше 4 гравитационное притяжение между телами, согласно ОТО (общей теории относительности) вообще отсутствует. «Поэтому мы и живем на “обитаемых островах” во Вселенной, четырехмерность пространства внутри которых делает наше существование возможным»².

Конечно, сами сторонники подобной «функционалистской» аргументации оговариваются, что предлагают лишь одно объяснение из нескольких возможных. Существует и другое объяснение, исходящее из принципов теории элементарных частиц, в частности, из современной теории суперструн³.

Цель данной работы – показать, что и этот способ объяснения также уязвим, будучи обусловлен недостатками лежащей в его основе модели Калуцы–Клейна. Соответственно, в первом разделе данной статьи мы рассмотрим достоинства и недостатки программы Калуцы–Клейна и, главное, предлагаемый этой программой способ

(механизм) объединения гравитации с электромагнитным полем. Задача второго раздела – рассмотреть те следствия, которые вытекают из применения этого механизма к другим физическим полям.

Хотелось бы также подчеркнуть, что предложенные аргументы не ставят под сомнение **всю** современную инфляционную космологию. Скорее, их цель состоит в обратном – побудить исследователей рассматривать другие, более физически осмысленные и эмпирически-содержательные механизмы объединения ОТО (общей теории относительности) и 3 остальных фундаментальных взаимодействий и тем самым постараться еще более усилить это одно из наиболее перспективных направлений современного естественнонаучного познания. В этом отношении представленная точка зрения совпадает со взглядами и других авторов⁴. При этом необходимо отметить, что проблема размерности пространства-времени имеет для теории струн гораздо большее значение, поскольку непротиворечивые и самосогласованные квантовые теории струн возможны лишь в пространствах высшей размерности (с $D \geq 10$).

Классическая теория Калуцы–Клейна

В 1921г. немецкий математик (точнее, преподаватель математики в гимназии г. Кенигсберга) Теодор Калуца пришел к созданию элегантной объединенной теории электромагнетизма и гравитации, выдвинув предположение, что размерность пространства-времени равна пяти, где одно измерение – времениподобно, а четыре других – пространственноподобны. Главное достоинство его теории состояло в отождествлении вновь возникающих (за счет добавления одного измерения) новых геометрических величин с потенциалами электромагнитного поля. Это было сделано следующим образом.

В соответствии с принципами римановой геометрии, линейный элемент $ds^2 = g_{ij} dx^i dx^j$, где для 5-мерного пространства-времени $i, j = 1, 2, 3, 4, 5$. Метрический тензор g_{ij} представляет собой матрицу, состоящую из привычного 4-мерного метрического тензора $g_{\alpha\beta}$ ($\alpha, \beta = 1, 2, 3, 4$), двух векторных полей A_α и A^5 и компоненты G_{55} . После того как мы приравняем ее -1 и постулируем т. н. «цилин-

метрическое условие», согласно которому обычный 4-мерный метрический тензор должен иметь равную нулю производную по вновь введенной пятой координате, оба векторных поля A станут очень похожими на 4-потенциалы электромагнитного поля. В то же время 5-мерные символы Кристоффеля, содержащие первые производные по всем пяти координатам, оказываются состоящими из 4-мерных символов Кристоффеля, аналогичных напряженностям гравитационного поля, и из символов Кристоффеля, содержащих индекс 5. Последние напоминают напряженности электромагнитного поля. Если мы прямо отождествим их с компонентами тензора электромагнитного поля $F_{\alpha\beta}$, мы можем получить некоторые следствия, которые и были позже названы энтузиастами «чудесами Калуцы-Клейна».

(1) **Первое «чудо»** может быть получено, если мы приравняем пяти-скорость частицы dx^5/ds выражению e/m , где e – заряд частицы, а m – ее масса. В этом случае 5-мерные уравнения геодезических оказываются состоящими из 4+1 уравнений. Первые четыре из них представляют собой обычные уравнения движения заряженной частицы в гравитационном поле в ОТО.

(2) **Главное Чудо. 5-мерные эйнштейновские полевые уравнения** $R_{ij} - Rg_{ij} = \kappa T_{ij}$ (где T_{ij} теперь не содержит электромагнитной компоненты) сводятся к обычным 4-мерным уравнениям Эйнштейна и к обычным уравнениям Максвелла и, увы, к неприятному уравнению на G_{55} , не удостоившемуся, впрочем, внимания создателя первой единой теории поля.

Этим набор чудес не ограничивается. Имеются еще два: появление тензора электромагнитного поля в правой стороне уравнений (3-е чудо) и объяснение калибровочной инвариантности электромагнитного поля (4-е чудо). Но они меркнут в сравнении с Главным Чудом. Последнее заслужило внимание самого Эйнштейна на протяжении нескольких десятилетий его жизни и даже привело к переписке с Калуцей, завершившейся публикацией статьи последнего в одном из самых известных немецких научных журналов.

Полуинтуитивные идеи Калуцы были доработаны и систематизированы в 1926 г. норвежским математиком Оскаром Клейном – по большей части в геометрическом отношении; получившийся в конечном счете продукт стали называть «теорией Калуцы-Клей-

на». Кроме Альберта Эйнштейна, усовершенствованием этой теории занимались такие физики-теоретики, как Владимир Фок, Яков Френкель и Луи де Бройль. Соответственно история этой идеи знавала множество взлетов и падений, пока в 80-х гг. прошлого века ею не занялись Шерк и Шварц. Правда, напряженные усилия по усовершенствованию этой теории выявили ряд затруднений, указывавших на то, что в модели Калуцы–Клейна объединение разных полей имело весьма искусственный характер, выглядело слишком *ad hoc*. В самом деле:

(1) Почему к 4 измерениям добавляется только **одно**? А не два? И не больше?

(2) «Цилиндрическое условие» весьма **искусственно**: $\partial g_{\alpha\beta}/\partial x^5 = 0$. Почему компоненты метрического тензора, описывающие напряженности гравитационного поля во всех точках пространства-времени, должны подчиняться такому жесткому условию?

(3) Почему пятое измерение **ненаблюдаемо**? И почему ненаблюдаемо именно пятое измерение? А не, например, третье? Предложение Клейна о том, чтобы пространство-время было периодически в новом пятом измерении и чтобы 5-пространство рассматривалось как гомеоморфное трубе, как прямое произведение 4-пространства-времени на круг радиуса x^5 , удовлетворяющий условию $0 < x^5 < 2\pi r_5$, действительным объяснением не является. Это просто выражение того факта, что пятое измерение является замкнутым.

В программе Калуцы–Клейна мы просто принимаем как факт, что радиус r_5 круга крайне мал – только на несколько порядков больше планковской длины $hG/c \approx 1.6 \times 10^{-33}$ см. Поэтому пятое измерение в нашей повседневной жизни не наблюдается благодаря гипотезе *ad hoc*. Собственное требование Эйнштейна – «объяснить, почему континуум ограничен четырьмя измерениями» – в рамках программы Калуцы–Клейна не выполняется.

(4) Как следует понимать компоненту G_{55} метрического тензора? В самом общем случае она представляет скалярное поле, аналогичное кулоновскому. Попытки Бранса и Дикке последовательно ввести это поле в ОТО (общую теорию относительности) не удались. Они не обеспечили эмпирически-прогрессивный сдвиг решаемых проблем в рамках эйнштейновской программы и не предсказали ни одного эмпирически значимого результата, за ис-

ключением предположения о том, что константа связи этого поля пренебрежимо мала для того, чтобы быть измеренной при помощи современной экспериментальной техники.

Более того, интерпретация этой компоненты в духе Бранса и Дикке является в свою очередь новой гипотезой *ad hoc*. Но если мы (вслед за Калуцей) положим $G_{55} = -1$, то этот шаг приведет к довольно странным физическим следствиям⁵.

Критические аргументы (1)–(4) могут быть подытожены следующим образом. Прделанное Калуцей и Клейном объединение гравитации и электромагнетизма, основанное на предположении о том, что пространство-время на самом деле является 5-мерным, и на отождествлении полученных в результате геометрических величин с потенциалами электромагнитного поля, является слишком формальным для того, чтобы принимать его всерьез. Утверждение о том, что как гравитационное, так и электромагнитное поля являются различными частями одного и того же метрического тензора, так что 5-мерные уравнения Эйнштейна распадаются на 4-мерные уравнения Эйнштейна и 4-мерные уравнения Максвелла, фактически сводится к утверждению о том, что гравитационное и электромагнитное поля являются тензорными полями. Но последнее утверждение новой информации не несет: уравнения Максвелла и уравнения Эйнштейна были получены до создания теории Калуцы–Клейна. И последняя ничего нового не говорит ни экспериментаторам, ни теоретикам. Поэтому теория Калуцы–Клейна является в рамках программы объединения всех фундаментальных взаимодействий гипотезой *ad hoc*₁ и *ad hoc*₂ в смысле Лакатоса. Еще много лет назад Ричард Фейнман саркастически заметил (в «Фейнмановских лекциях по физике»), что очень несложно написать выражение для самого фундаментального и глубокого уравнения, которое «объединяет» все основные физические взаимодействия.

Этот «закон» выглядит следующим образом: $\square \hat{O} = 0$, где оператор $\square$ и функция $\hat{O}$ изменяются для каждого вновь рассматриваемого физического взаимодействия. Например, для классической механики $\square = 1$ и $\hat{O} = F$ – та, для классической электродинамики $\square$ является оператором Даламбера, а $\hat{O}$ представляет полевые величины, etc. Почему это объединение носит формальный характер? – Потому что реальное, содержательное, но не формальное

объединение должно состоять в конструировании базовой модели изучаемого процесса, например, в соответствии с правилами, которые были подытожены В.С.Стёпиным⁶.

Рационально реконструировав вместе со Львом Томильчиком процесс объединения электричества, магнетизма и оптики, имевший место в середине XIX в., В.С.Стёпин выявил такие особенности процесса синтеза, которые, на мой взгляд, имеют значение для успешного объединения и других научных теорий. В частности, именно эти особенности, судя по всему, обеспечили победу максвелловской программе над конкурирующими программами Ампера и Вебера. Они могут быть подытожены следующим образом.

(i) Любая развитая научная теория является множеством утверждений, описывающих отношения между определенными теоретическими абстрактными объектами. Эти абстрактные объекты относятся к подмножеству либо базисных абстрактных объектов, либо производных теоретических объектов, которые сконструированы из базисных по особым правилам, принадлежащим определенной парадигме (по Т.Куну). Поэтому получающаяся в результате объединения (глобальная) теория должна объединять не только основные законы, но и системы базисных теоретических объектов.

(ii) Объекты глобальной системы абстрактных объектов должны быть операционально определены при помощи идеальных измерительных процедур. Особенно тщательно должны быть прописаны связи с абстрактными объектами нижних уровней.

(iii) Абстрактные объекты глобальной системы теоретических объектов должны совмещать свойства объектов из разных объединяемых теоретических систем.

С нашей точки зрения, нарушение правил (i) – (iii) может приводить к нарушению жесткости связей различных уровней организации теоретического знания и к соответствующему падению предсказательной силы научной теории⁷.

Сторонники программы Калуцы–Клейна могут возразить, что правила (i)–(iii) относятся только к классическому этапу развития физики, когда теории строились за счет медленного и осторожно-го синтеза теоретических схем. А в XX в. пришло время метода математической гипотезы, когда сначала, пользуясь соображениями симметрии, пытаются угадать фундаментальные уравнения, и

лишь только затем они получают эмпирическую интерпретацию, образцом которой являются процедуры Бора-Розенфельда в квантовой электродинамике.

Но на это также можно ответить, что само создание первых неклассических теорий – как специальной теории относительности (СТО), так и ранней квантовой теории – все-таки происходило в контексте согласования ньютоновской механики, максвелловской электродинамики, статистической механики и термодинамики. Даже ОТО⁸ явилась результатом согласования ньютоновской теории тяготения с СТО, процесса, протекавшего около 10 лет, одним из этапов которого явилось создание неметрической теории гравитации.

Правда, некоторые классические этапы или «смазывались», или опускались самими создателями неклассической физики. В статье по СТО, как известно, нет ни одной конкретной ссылки на экспериментальные данные. В статье по ОТО стерты, как гипотетические и промежуточные, основные этапы получения фундаментальных уравнений гравитационного поля. Но обратная сторона этих шагов – растягивание эмпирической интерпретации на десятилетия. Достаточно обратиться к полемике о роли эксперимента Майкельсона-Морли в создании СТО или к спорам о соотношении системы отсчета и системы координат в ОТО (к «проблеме измеримости в ОТО»).

В известной мере сказанное выше относится и к т. н. «послевоенной физике» – к электрослабой теории Вайнберга-Салама, квантовой хромодинамике, теориям «Великого Объединения», суперсимметрии и суперструн. Скажем, утверждение о том, что осуществленный в работах Салама, Вайнберга и Глешоу синтез электромагнитных и слабых взаимодействий обеспечил эмпирически-прогрессивный сдвиг решаемых проблем, все-таки проблематично. Как отмечает, например, Маргарет Моррисон, электрослабое объединение не привело к *новым успешным предсказаниям* добавок к тем, что имелись у квантовой электродинамики и теории слабых взаимодействий *до* их синтеза⁹.

Простая конъюнкция хиггсовского механизма с ранними электрослабыми калибровочными моделями и не могла привести к значительным успехам, что выразилось в характере предсказаний результатов экспериментов. По мнению некоторых экспертов, они оказались *ad hoc*. Упомянем, например, историю открытия нейтральных токов.

«Таким образом, в обеих областях нейтринной физики – как в пузырьковых камерах, так и в электронных экспериментах – паттерн оказался одним и тем же. Схема 1960-х гг., в которой определенное множество интерпретативных процедур указывало на отсутствие нейтральных токов, была заменена в 1970-х гг. новым порядком, в котором новое множество интерпретативных процедур сделало существование нейтральных токов возможным. Каждая из этих схем в принципе была небесспорной, и тем не менее сообщество специалистов в области физики высоких энергий выбрало сначала одну из них, а затем другую. Почему же произошла эта трансформация?»¹⁰

Далее, главное предсказание теорий «Великого Объединения» включало такой параметр, как электрослабый угол смешивания Θ_w . Сначала SU(5) модель Джорджи и Глешоу предсказывала значение $\text{Sin}^2\Theta_w$ равное 3/8. Однако «некоторые дополнительные теоретические исследования» показали, что все не так просто. И, наконец, «героические попытки 1974–1979 гг.» уменьшили значение этого параметра до 0,20; только теперь теоретический результат мог быть сопоставлен с экспериментальным значением, равным 0,23.

Рассмотрим основные этапы создания электрослабой теории детальнее. Сначала был записан лагранжиан L (из которого легко получаются уравнения движения), содержащий два члена – первый, который описывает свободное, не взаимодействующее ни с зарядами, ни с другими полями электромагнитное поле, и второй, описывающий поле свободных слабых взаимодействий. Каждый из этих членов является своеобразным обобщением соответствующих экспериментов с элементарными частицами.

Далее было выдвинуто требование, чтобы L был инвариантным по отношению к множеству преобразований симметрии. Это множество включает как множество *внешних*, пространственно-временных симметрий, подобных 10-параметрической группе Лоренца, так и множество *внутренних* симметрий, обеспечивающих сохранение спина, заряда и их более экзотических модификаций, таких как четность, странность, изоспин и т. д.

Требование того, чтобы каждая часть лагранжиана была инвариантна относительно соответствующих преобразований симметрии, приводит к тому, что мы добавляем к лагранжианам

свободных полей новые члены. Но теперь эти члены описывают такие квантовые поля, которые называются «калибровочными». Эти поля переносят как сами электромагнитные и слабые взаимодействия, так и их источники. Так мы и получаем описание квантованного электромагнитного поля с его фотонами, равно как и других аналогичных полей, – просто за счет требования, чтобы лагранжиан удовлетворял соответствующим требованиям симметрии. Как отмечает М.Моррисон, «структура электромагнитного поля, определяемая требованиями локальной симметрии, в свою очередь определяет почти однозначно форму взаимодействия, т. е. точную форму выражения для силы, действующей на частицу»¹¹.

Используя дополнительные математические ухищрения, такие как спонтанное нарушение симметрии, угол Вайнберга (феноменологический параметр, описывающий степень смешивания электромагнитной и слабой сил), Глешоу, Вайнберг и Салам смогли наконец создать электрослабую теорию.

Дальнейший прогресс теории калибровочных преобразований позволил распространить эту возможность и на другие имеющиеся в природе силы: «Калибровочная симметрия стала мощным инструментом, способным определить форму взаимодействия вещества с полем и во многом определить динамическое содержание теории сильных взаимодействий. Ее способность генерировать этот вид динамики определила роль, которую она продолжала играть в создании ядра электрослабой теории»¹².

Данный выше набросок процесса создания электрослабой теории выделяет немаловажное обстоятельство: отсутствие в результате объединения *взаимного изменения* квантовой электродинамики и теории слабых взаимодействий. Фактически роль теоретиков была сведена к отысканию члена в лагранжиане, описывающего взаимодействие объединяемых полей, содержащего феноменологические параметры, определяемые из эксперимента. Понятно, почему процесс создания электрослабой теории обычно не называется научной революцией: он не привел к *радикальному* перевороту в наших взглядах на структуру элементарных частиц. Судя по всему, сказанное выше применимо и к теории «Великого Объединения» электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий¹³.

От суперсимметрии – к супергравитации и суперструнам

Как известно, суперсимметрия является симметрией между бозонами и фермионами. Даже в самой простой суперсимметричной теории обычное 4-мерное пространство-время расширяется так, чтобы образовать т. н. «суперпространство», каждая точка которого характеризуется 8 координатами: обычными 4 координатами $\{x, y, z, t\}$ и четырьмя новыми, принадлежащими т. н. «алгебре Грассмана». В первом приближении обычные координаты соответствуют бозонам, а координаты Грассмана – фермионам. Поэтому неудивительно, что если обычное пространство-время допускает 10-параметрическую группу Пуанкаре, то суперпространство допускает 14-параметрическую расширенную группу Пуанкаре, в которой к обычным трансляциям добавлены т. н. «супертрансляции». Во всякой суперсимметричной теории все поля заменены на суперполя, зависящие, в случае простейшей суперсимметрии, от 8 переменных, а в случае N-расширенной суперсимметрии – от $4+4N$ переменных. Как всегда, суперсимметричный лагранжиан L определяется в виде выражения, содержащего инвариантные квадратичные члены, образованные из производных суперполевых компонент по 8 координатам. Супердействие же S , соответственно, определяется в виде интеграла вдоль всех переменных.

Это все – о глобальной суперсимметрии. Следующий этап развертывания теории должен состоять в локализации суперсимметрии, т. е. во введении зависимости супертрансляционных параметров от обычных 4-координат. Так же, как локализация параметров обычной группы Пуанкаре ведет к созданию общей теории относительности (ОТО), локализация 14-параметрической расширенной супергруппы Пуанкаре состоит в создании теорий супергравитации. В этих теориях число дополнительных переменных N изменяется от 1 до 8. Максимально расширенная $N=8$ теория супергравитации состоит из одного поля со спином 2, восьми полей со спином $3/2$, 28 полей со спином 1, и 70 полей с нулевым спином. Неудивительно, что фанаты супергравитации до сих пор еще не решили, как распорядиться всем этим богатством и с какими именно экспериментально наблюдаемыми полями эти супермультиплеты

должны быть отождествлены. Более того, каковы же должны быть правила суперселекции, чтобы выбраковывать не наблюдаемые на опыте супермультиплеты?

Тем не менее процесс пошел, и были выдвинуты супергравитационные теории «типа Калуцы–Клейна» с n обычными координатами и m грасмановскими переменными. Как известно, твердое ядро суперструнной программы содержит следующие три утверждения:

- (1) Носители фундаментальных взаимодействий нелокальны.*
- (2) Отношения между бозонами и фермионами описываются принципом суперсимметрии.*
- (3) Пространство-время обладает многими размерностями в смысле Калуцы–Клейна.*

История суперструн началась в 1968 г., когда молодой физик Габриэль Венециано обнаружил, что ряд необычных свойств сильных (ядерных) взаимодействий может быть описан «эзотерической» β – функцией, открытой российским математиком Леонардом Эйлером 200-ми годами ранее. Формула Эйлера прекрасно «работала», но никто не мог объяснить почему.

Только в 1970 г. Йохиро Намбу, Хольгер Нильсен и Леонард Сасскинд поняли, что за физика скрывается за этой формулой. Если мы представим элементарные частицы в виде крошечных, «вибрирующих», одномерных струн, то их сильные взаимодействия и будут описываться эйлеровскими функциями.

Но в начале 1970-х гг. был поставлен ряд экспериментов, результаты которых оказались в прямом конфликте с предсказаниями струнной теории. Более того. В ней определенные конфигурации струны обладали свойствами, схожими с глюонами (квантами-переносчиками сильных взаимодействий). Это неудивительно, если принять во внимание, что самая первая версия этой теории и была предназначена для описания сильных взаимодействий. Но, что хуже всего, при этом струнная теория содержала дополнительные частицы-связники, которые никакого отношения к сильным взаимодействиям не имели. Эти частицы обладали нулевой массой покоя и двумя квантовыми единицами спина. Ни одна из многочисленных попыток избавиться от этих монстров не увенчалась успехом. Каждый раз, когда физики пы-

тались при помощи разнообразных математических трюков эти частицы (со спином 2) исключить, модель «каким-то непостижимым образом» разрушалась.

И тогда в 1974 г. Джон Шварц и Джоэль Шерк сделали блестящий ход, одним махом превративший основной недостаток в главное достоинство. После тщательного изучения загадочных мод струнных вибраций они поняли, что эти моды отражают свойства гравитонов – переносчиков гравитационного взаимодействия. Таким образом, если вместе с Шерком и Шварцем интерпретировать нежелательные в прошлом частицы как гравитоны – со спином 2, то оказывается, что теория струн включает в себя общую теорию относительности. Теоретические объекты теории Эйнштейна выглядят как самая низкая «вибрация» (или мода) струны.

К тому же в 1971 г. Пьер Рамон модифицировал бозонную (до тех пор) версию струнной теории для того, чтобы включить и фермионные вибрационные моды. В новой теории бозонные и фермионные моды появлялись только вместе, только парами. Так возникла суперсимметричная струнная теория или теория суперструн.

С другой стороны, в 1976 г. Питер ван Ньёвенхойзен, Серджио Феррара и Даниэл Фридмен обнаружили, что общая теория относительности может стать суперсимметричной, если в нее ввести всего лишь одно новое поле, суперпартнер эйнштейновского классического гравитационного поля со спином $3/2$. Эта частица соответствует обычному гравитону (кванту гравитационного поля со спином 2); она стала называться «гравитино» (маленький гравитон). Модифицированная таким образом теория стала называться *«теорией супергравитации»*.

И наконец в 1984 г. в обзорной работе, аккумулировавшей более десяти лет напряженного труда, Майкл Грин и Джон Шварц показали, что именно струнная теория изменяет общую теорию относительности так, что делает ее полностью согласованной с квантовой теорией. Более того, струнная теория еще и предлагает механизм, демонстрирующий, каким именно образом все 4 фундаментальных взаимодействия возникают из одного и того же базисного теоретического объекта – осциллирующей струны.

Итак, существовали определенные основания для того, чтобы период с 1984 г. по 1986 г. был назван *«первой суперструнной революцией»*. В работах, написанных за это время физиками

всего мира, было показано, что ряд результатов, полученных в рамках конкурирующей стандартной модели «Великого Объединения», могут быть естественно и просто переполучены в рамках струнной теории¹⁴.

В дальнейшем было показано, что теория струн не только может, но и должна с необходимостью быть суперсимметричной, поскольку только совместное существование бозонных и фермионных мод позволяет отбросить ряд физически сомнительных решений, подобных тахионам (гипотетическим частицам, движущимся со сверхсветовыми скоростями). Именно после осознания этого обстоятельства Шерк и Шварц выдвинули гипотезу, согласно которой размерность пространства-времени равна 10, и эта гипотеза значительно изменила твердое ядро программы. А в ее позитивную эвристику был введен принцип, согласно которому все объединение с другими взаимодействиями должно было быть осуществлено по аналогии с теорией Калуцы–Клейна, за счет помещения каждого нового взаимодействия в свое измерение.

Особенно интересными оказались теории в 11 измерениях, поскольку 11 – минимальное число, необходимое для введения калибровочной группы $SU(5) \times SU(2) \times SU(1)$ из теорий Великого Объединения. Именно число 11 является наименьшей размерностью пространства-времени, включающей электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия. Более того, именно 11 измерений допускают компактификацию 7 лишних измерений. Но как? – Рассмотрим методы создания супергравитационных теорий типа Калуцы–Клейна.

Эти теории были созданы за счет простых обобщений 5-мерных теорий Калуцы–Клейна на случаи $N = 4 + D$ измерений. Тем не менее сама возможность применения этого механизма основывается на допущении о том, что уравнения Эйнштейна справедливы в D измерениях. Основное состояние с самого начала выбрано в виде $\dot{I}^4 \times V^D$, где V^D допускает группу изометрий генерированную D киллинговыми векторными полями, но не как $\dot{I}^{4+D}$. Тем не менее, последнее выражение также должно быть справедливо для того, чтобы объединение было корректным.

Выводятся соответствующие выражения для метрики. В полной аналогии с 5-мерным $\dot{I}^4 \times S^1$, группа изометрий V^D должна показывать себя как группа калибровочных симметрий полей, которые

существуют «внутри» $\dot{I}^4$. В самом деле, первоначальный подход Калуцы и Клейна был рассмотрен нами в первой части этой работы. Важно то, что калибровочная инвариантность электромагнитного поля оказывается следствием особой роли пятой координаты. Калибровочная инвариантность – это отражение 5-мерной симметрии в 4-мерном мире. Пространственно-подобный вектор Киллинга $\partial/\partial x^5$ генерирует изометрические преобразования, которые оказываются $U(1)$ группой калибровочных симметрий в $\dot{I}^4$.

Поэтому в самом общем случае мы всегда можем выбрать $\hat{A}^D$ так, чтобы объединить гравитацию с любой калибровочной группой. Обычно говорят, что $\hat{A}^D$ допускает группу изометрий G , генерированную D векторами Киллинга. В обычном 4-мерном пространстве-времени G будет восприниматься как т. н. «неабелева» калибровочная группа. Поэтому калибровочная инвариантность – это просто пространственно-временная инвариантность в многомерном пространстве-времени. Неудивительно, что в полной аналогии с теорией Калуцы–Клейна метрический тензор в $4+D$ измерениях может быть записан в виде обычной 4-мерной метрики плюс $4D$ компоненты калибровочных полевых величин плюс множество скалярных полей. Само собой разумеется, что сама возможность такого представления метрического тензора в $4+D$ измерениях обусловлена обобщенными «цилиндрическими условиями». Только теперь они оказываются специфическими ограничениями на генераторы группы, т. е. на множество векторов Киллинга. Именно они позволяют записать обобщенный лагранжиан в виде суммы двух частей¹⁵.

Первая часть – это обычный лагранжиан свободного гравитационного поля в 4 измерениях, а вторая часть – это часть Янга-Миллса, описывающая рассматриваемые калибровочные поля. И именно из этого лагранжиана стандартными квантово-полевыми методами могут быть получены как 4-мерные уравнения Эйнштейна, так и уравнения Янга-Миллса (включая уравнения Максвелла, Клейна-Гордона-Фока, Дирака и т. д.).

В силу того, что описанная процедура является незатейливым обобщением 5-мерного случая, неудивительно, что все калуцевские чудеса остаются. Но сохраняются и недостатки. И появляются новые. Например, компактифицировать теперь надо 7 измерений, а не одно, как в старые добрые времена Калуцы.

Главным аргументом в пользу теории суперструн является то, что у нее фактически нет реальных альтернатив в решении проблемы объединения. Это единственный подход к объединению гравитационного и трех остальных взаимодействий, который привел хотя бы к каким-то положительным результатам. Например, многопетлевой подход и другие подходы в канонической квантовой теории гравитации сводятся только к «бесконечным обсуждениям возможностей объединения 4-х фундаментальных взаимодействий без выдвижения какой-либо реальной стратегии»¹⁶.

А в теории суперструн сделаны определенные *конкретные* шаги по построению глобальной теоретической модели (глобальной теоретической схемы), содержащей глобальный теоретический объект – осциллирующую суперструну. Из нее в принципе должны быть сконструированы базисные теоретические объекты и квантовой теории поля, и общей теории относительности. И действительно, несмотря на то, что струны не имеют квантовых чисел, они могут отличаться друг от друга как топологически, так и динамически. При этом для наблюдателя, который не обладает энергией, достаточной для того, чтобы различить структуру струны, струна в особой колебательной моде и топологической позиции будет представляться точечной частицей, характеризующейся теперь уже определенными квантовыми числами.

Во-вторых, особо убедительным экспериментальным подтверждением любой научной теории всегда считалось и считается предсказание ею фактов, которые не использовались при ее конструировании, хотя и могли быть тогда известными. Как показал ученик Имре Лакатоса Эли Захар, такого рода «новым фактом» для ОТО явилось т. н. «аномальное смещение перигелия Меркурия»¹⁷. Оно было известно астрономам еще в середине XIX в., но Эйнштейн, судя по всему, не принимал его во внимание при создании ОТО. Другой, не менее наглядный пример, рассмотренный коллегой Захара Джоном Уорраллом, – предсказание создателем волновой теории света О.Френелем белого пятна в центре тени, создаваемой круглым диском¹⁸.

Аналогично, теория может быть подтверждена и теоретическим образом. Например, она может раскрыть теоретические взаимосвязи внутри какой-то одной теории или интертеоретические взаимосвязи между разными теориями. В силу того, что теория –

это всегда определенная аккумуляция опытных данных, «сжатая сводка опыта» (термин Эрнста Маха), то это достижение может не уступать по значимости, а иногда даже превосходить чисто «эмпирическое» подтверждение.

В этом смысле теория суперструн преподнесла целый ряд сюрпризов:

(1) она продемонстрировала, что теория любого протяженного квантового объекта с необходимостью включает гравитацию;

(2) она показала, что струнная теория вещества с необходимостью включает теорию суперсимметрии;

(3) струнная теория в особенно интересном и важном случае черной дыры может теоретически воспроизвести, переполучить и объяснить найденное Бекенштейном и Хокингом соотношение между энтропией черной дыры и площадью ее горизонта.

В частности в последнем случае было показано¹⁹, что D-бранная техника может быть использована для подсчета квантовых микросостояний связанных с классической черной дырой. С одной стороны, рассчитали суммарную энтропию этих состояний при помощи больцмановской формулы $S = k \log h$, где h – число квантовых состояний, в которых может находиться система. Но, с другой стороны, это выражение в точности совпало с формулой Бекенштейна-Хокинга, связывавшей энтропию черной дыры с площадью ее горизонта.

Тем не менее, несмотря на более чем тридцать лет упорных поисков, теория суперструн до сих пор остается не только *эмпирически неподтвержденной*, но и существенно *теоретически недоработанной*. Мы до сих пор не знаем, какие фундаментальные характеристики Вселенной могут быть объяснены теорией суперструн. Можно лишь констатировать, что теория суперструн качественно не противоречит существующим космологическим теориям, но о количественных предсказаниях поведения космологических объектов не может быть и речи.

И это при том, что в современной астрофизике и космологии происходит подлинная «наблюдательная революция», сравнимая по размаху с коперниканской. На орбиту вокруг Земли начинают выводиться спутники с такими установленными на них телескопами, которые в сотни и тысячи раз расширяют спектр принимаемого из разных уголков Вселенной излучения. По данным астрофизиков и

космологов (1999), наша земная физика может объяснить происхождение только 4 % всех материальных объектов и систем во Вселенной²⁰. Остальные 90 с лишним процентов – это «темная материя» и «темная энергия». Мы вынуждены опять констатировать несовпадения в разрывах экспериментальной и теоретической традиций.

В известном обзоре рассматриваемой научно-исследовательской программы «Элегантная Вселенная»²¹ специалист в области теории суперструн Брайан Грин выделяет следующие недостатки этой теории.

№ 1. В теоретической физике, особенно в XX в., мы часто встречаемся с ситуацией, когда фундаментальные уравнения, описывающие тот или иной процесс, хорошо известны, но общие их решения трудно получить аналитически из-за математических трудностей. В этой ситуации физики не отчаиваются, но пытаются для каждого отдельного случая найти приблизительное решение. Но в теории суперструн ситуация еще хуже. Даже нахождение самих фундаментальных уравнений – настолько сложная задача, что к настоящему времени получены только приблизительные уравнения. Поэтому суперструнщики до сих пор занимались тем, что пытались найти «приближенные решения приблизительно правильных уравнений».

№ 2. Длина типичного струнного кольца – порядка планковской длины, т. е. в сотни миллиардов миллиардов раз (10^{20}) меньше размеров атомного ядра. Неудивительно, что на современном уровне развития экспериментальной техники струны ненаблюдаемы. Для того, чтобы изучить законы их взаимодействия опытным путем, мы нуждаемся в ускорителе размером со всю Вселенную.

№ 3. Как известно, одним из достоинств теории суперструн является то обстоятельство, что в этой теории исчезают расходимости, мучившие специалистов в области квантовой теории поля на протяжении долгого времени. Но зато возникает проблема отрицательных вероятностей, которая элиминируется, если струны вибрируют в 9 независимых направлениях. Но почему именно в девяти? Ответить на этот вопрос никто пока не может, хотя математические процедуры представляются безукоризненными. Нельзя не вспомнить в этой связи Эрнеста Резерфорда, говорившего о том, что если вы не можете объяснить какой-либо результат неспециалисту простым, нетехническим языком, то вы сами его не понимаете.

№ 4. Почему именно 3 пространственных и одна временная компоненты велики и протяженны, в то время как остальные свернуты и незначительны в размерах?

№ 5. Существуют ли среди свернутых измерений временные?

№ 6. Как известно, еще Эдвард Виттен заявил, что струнная теория уже сделала одно драматическое и уже подтвержденное на опыте предсказание: она предсказала тяготение. Тем не менее физики пока еще не научились при помощи струнной теории делать предсказания, которые можно было бы сравнивать с экспериментом. В этой связи Шелдон Глэшоу сравнивает теорию суперструн со средневековой теологией, которая подрывала основы науки и экспериментального метода.

№ 7. Как говаривал Ричард Фейнман незадолго до смерти в 1988 г., «мне кажется, – хотя я могу и ошибаться, – что существует несколько способов содрать шкуру с кошки. Я не думаю, что существует только один путь освобождения от бесконечностей. Тот факт, что теория освобождается от бесконечностей, является для меня недостаточной причиной для того, чтобы поверить в ее уникальность... [при этом] математика слишком сложна для индивидов, которые с ней работают, и они не выводят необходимые следствия с должной строгостью. Они просто пытаются угадать»²².

№ 8. Согласно предсказаниям теории суперструн, у каждой элементарной частицы должна быть пара – ее суперпартнер. В этом смысле, согласно Джону Шварцу (www.caltech.edu), мы можем говорить о следующих трех «качественных» предсказаниях теории суперструн: (1) существование гравитации; (2) суперструнные решения в самом общем случае включают янг-миллсовские калибровочные теории; (3) существование суперсимметрии в области низких энергий.

К сожалению, полученные в последнее время экспериментальные данные все более и более ставят последнее «предсказание» под сомнение. В 2011 г. эксперименты на чикагском Теватроне в лаборатории им. Э.Ферми показали, что распад ряда мезонов отличался от их античастичных версий, чего не должно было иметь место согласно теории суперсимметрии. Далее этот вопрос был более детально исследован на швейцарском Большом Адронном Суперколлайдере, но и там следов суперпартнеров пока не обнару-

жено. Хотя какие-то определенные выводы делать рано, возможно, что в скором будущем будет показано, что самая простая версия суперсимметрии является неверной²³.

Понятно, почему многие современные физики предлагают перенести кафедры суперструн на математические факультеты университетов. Мы можем заключить, что основной недостаток подхода Калуцы–Клейна – отсутствие нового содержания – сохраняется и в многомерностных версиях исходной 5-мерной идеальной модели. Результат объединения двух разных теорий содержит практически ту же информацию, которая содержалась в обеих теориях до их синтеза. Содержание результата объединения является по сути конъюнкцией содержания объединенных теорий. Причина в том, что как многомерное обобщение теории Калуцы–Клейна, так и первоначальная 5-мерная модель фактически представляют собой перевод идеи калибровочной инвариантности на геометрический язык. Аналогично перевод рассказа Артура Конан-Дойля с английского на итальянский не может превратить честного сыщика Шерлока Холмса в матерого преступника профессора Мориарти.

Список трудностей теории суперструн легко может быть продолжен, но уже сейчас ясно, что о какой-либо последовательной, самосогласованной и экспериментально подтвержденной Теории Всего на Свете (Theory of Everything) и речи быть не может. Но тем не менее мы все-таки можем говорить о *начале* успешного согласования, взаимопроникновения общей теории относительности и квантовой теории поля. В этом отношении основным достижением теории суперструн является то, что она изменила ОТО так, чтобы сделать ее совместимой с квантовой теорией. Как отмечает Эдвард Виттен, «соответственно, мы можем ожидать, что и основные понятия квантовой теории должны быть изменены для обеспечения полной интеграции гравитационной физики в квантовую теорию...»²⁴. Почему бы и нет?

В завершение автор считает своим приятным долгом поблагодарить участников международного семинара по философии науки в г. Дубровнике за обсуждение статьи, а рецензентов А.Д.Панова и В.Д.Эрекаева за критические замечания.

Примечания

- ¹ Линде А.Д. Раздувающаяся Вселенная // УФН. 1984. Т. 111. Вып. 2. С. 191.
- ² Там же. С. 202. С нашей точки зрения, подобная «функционалистская» (в терминах социологии науки) аргументация может завести достаточно далеко. Почему каждый из нас имеет по две руки? – Потому что в противном случае он не смог бы выжить в процессе борьбы за существование. Почему тела падают на Землю? – Потому что в противном случае с Земли унеслись бы в космическое пространство не только камни, но и люди, и некому было бы ни задавать дурацкие вопросы, ни отвечать на них. Неслучайно в известной дискуссии (Smolin-Susskind debate) один из ее участников (Lee Smolin) полагает, что антропный принцип не может быть частью научного знания (www.edge.org, 2004).
- ³ См., например: *Susskind L. The Cosmic Landscape. String Theory and the Illusion of Intelligent Design.* N. Y., 2006.
- ⁴ *Smolin L. The Trouble with Physics.* Houghton-Mifflin, 2006; *Woigt P. Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law.* N. Y., 2006.
- ⁵ Подробнее см.: *Владимиров Ю.С. Пространство-время: явные и скрытые размерности.* М., 1989.
- ⁶ См., например: *Стёпин В.С. Теоретическое знание.* М., 2000.
- ⁷ Подробнее см.: *Нугаев Р.М. Реконструкция процесса смены развитых научных теорий.* Казань, 1989.
- ⁸ *Einstein A. Die Feldgleichungen der Gravitation.* “Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin”. 1915. 25.11.1915. P. 844–847.
- ⁹ Подробнее см.: *Morrison M. Unifying Scientific Theories: Physical Concepts and Mathematical Structures.* Cambridge Univ. Press, 2000.
- ¹⁰ *Pickering A. Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics.* The Univ. of Chicago Press, 1985. P. 193.
- ¹¹ *Morrison M. Unifying Scientific Theories : Physical Concepts and Mathematical Structures.* P. 116.
- ¹² Ibid. P. 117.
- ¹³ См., например: *Pickering A. Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics.* The Univ. of Chicago Press, 1985.
- ¹⁴ Подробнее см.: *Green B. The Elegant Universe. Superstrings, Hidden Dimensions and the Quest for Ultimate Theory.* N. Y., 2000. P. 448.
- ¹⁵ *Chyba C.F. Kaluza-Klein unified field theory and apparent four – dimensional space-time* // American Journal of Physics. 1985. 53(9). P. 863–872.
- ¹⁶ *Green B. Op. cit.* P. 136.
- ¹⁷ *Elie Z. Einstein’s Revolution. A Study in Heuristic.* Open Court–La Salle–Illinois, 1989.
- ¹⁸ *Worrall J. Fresnel, Poisson and the white spot: the role of successful predictions in the acceptance of scientific theories.* In: Gooding et al. The Uses of Experiment. Cambridge Univ. Press, 1989. P. 135–157.
- ¹⁹ *Strominger A. and Vafa K. Microscopic Origin of Bekenstein* // Hawking Entropy.

- Physics Letters. В 379. 1996. P. 99.
- ²⁰ См., например: *Астрономия: век XXI* / Ред.-сост. В.Г.Сурдин. Фрязино, 2008.
- ²¹ *Green B.* Op. cit.
- ²² *Feynman R.* Interview // Paul Davis & Julian Brown (eds.) *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge, 1991. P. 192–210.
- ²³ *Pachel P.* Did the Large Hadron Collider just Debunk String Theory? (www.pcmag.com, 30 Aug. 2011).
- ²⁴ Цит. по: *Richard D.* Structural Realism in the age of string theory. P. 28 (www.philpapers.com).

Природа математики, космология и структура реальности: физические основания математики

Введение

Данная статья является прямым продолжением статьи¹, которую ниже мы будем называть *первой статьей*. В ней мы рассмотрели аргументы в пользу того, что объекты математики обладают вполне независимым собственным существованием до и независимо от того, были они кем-то выдуманы или открыты или нет. По нашему мнению, эти аргументы очень весомы, и есть все основания считать, что мир математики объективно реален. Тем самым объективная реальность дуальна (как минимум), так как структурируется на два существенно различных сектора: с одной стороны, это «материальная» объективная реальность, представленная пространством-временем, полями и веществом различных типов; с другой стороны, это объективная реальность мира математических форм. Можно сказать, что мир математики образует семантический слой объективной реальности. В настоящей статье мы затронем вопрос о том, как именно протекает это независимое объективное существование мира математики с физической точки зрения, от какой физики оно может зависеть и какие характерные возникающие здесь проблемы трудно обойти.

В процессе обсуждения будет показано, что анализ в некоторых случаях выводит к границам применимости принципа наблюдаемости, являющегося одним из основных методологических положений научного метода, понимаемого обычным способом. Похожая ситуация имеет место в методологии современной космологии, что подробно обсуждалось нами в статье², на которую

мы будем ссылаться ниже как на *Методологию космологии* (всегда курсивом). Аналогия в методологических проблемах оснований математики и космологии представляется весьма примечательной.

1. Физика математики

Очень часто считается (более или менее явно), что математика является «продуктом чистого разума», миром «чистых платоновских форм», и не имеет никакой материальной физической основы. Однако внимательный анализ показывает, что представление о «чисто идеальной» природе математики является далеко не очевидным.

Подойдем к вопросу о связи мира математических форм с физической реальностью со следующей методологической установкой. Не будем пытаться рассматривать какие-либо спекулятивные концепции вроде попытки отгадать, какие известные или предполагаемые физические поля могут быть реальными носителями семантического слоя реальности или что-либо подобное. Такое направление поиска означало бы попытку свести бытие мира математических форм к бытию обычного мира материи, что, по-моему, абсолютно бесперспективно. Это кажется попыткой поймать большую рыбу на слишком мелком месте. Напротив, постараемся вычленивать те связи, которые представляются практически совершенно несомненными и неизбежными вне каких-либо спекуляций. Мы проведем методологический анализ связей математики с физической реальностью.

Математические доказательства или вычисления по своей сути являются *процессами преобразования информации*. Аксиомы или иные входные данные, имеющие недвусмысленное информационное содержание, посредством процесса доказательства или вычисления перерабатываются в результат – доказанную теорему или результат вычислений, также имеющий информационную природу. Точнее говоря, именно таким способом сформирован интерфейс математики с материальным миром. Ключевыми здесь являются понятия информации и процесса, откуда немедленно вытекает связь мира математических форм с физической реальностью, причем связь двух различных типов.

Первый тип связи имеет отношение к природе информации. Существуют различные определения последней, но любое из них предполагает, что информация может быть каким-то образом зафиксирована, хотя бы временно: она может передаваться по каналу связи, быть записана для хранения и представлена для изучения и т. д. Понятие информации предполагает (хотя бы в принципе) существование ее физических носителей. По крайней мере с операциональной точки зрения бессмысленно говорить об информации, существующей самой по себе, вне всякой связи с ее носителями. Бессмысленно говорить о существовании доказательства какого-либо математического факта, если оно принципиально не может быть каким-то образом зафиксировано и представлено для объективного анализа (в частном случае этим носителем могут быть и мозги математика или, например, память компьютера). Таким образом, математика через понятие информации неявно апеллирует к существованию физических объектов определенного типа – носителей информации. Это обстоятельство не вызывает никаких сомнений: вне представления о таковых информации понятие математического доказательства теряет смысл.

Второй тип связи имеет отношение к понятию процесса. Фактически мы уже касались этого сорта связей, когда в *первой статье* обсуждали аналогию между математическими доказательствами и экспериментальными методиками. Любое доказательство или вычисление мыслится не только как мертвая информация, которая может быть зафиксирована на носителе, но и как причинный процесс, который может быть развернут в пространстве-времени. Подчеркнем, что имеется в виду причинный процесс в классическом, не квантовом понимании, когда причина определяет следствие однозначно³. Это обстоятельство наиболее ярко подчеркнуто в представлении об абстрактной машине Тьюринга, как универсальном средстве реализации и представлении вычислений и доказательств, где центральным пунктом определения является последовательность причинно связанных шагов машины. Реальные работающие вычислительные машины являются лучшей тому наглядной и осязаемой иллюстрацией. Каждый последующий шаг любого вычисления или доказательства должен быть причинно связан с предыдущим или несколькими предыдущими, и все это уложено в единую причинную цепочку, приводящую к результату⁴.

Таким образом, понятие доказательства как процедуры, которая должна быть выполнена, явно апеллирует к понятию физической причинности, которое в свою очередь теснейшим образом связано с одномерностью времени и вообще с лоренцевой причинной структурой пространственно-временного континуума. В многомерном времени простой линейной причинности возникнуть не может, и, живи мы в многомерном времени, у нас, скорее всего, не могло бы возникнуть то понятие математического доказательства, которым мы пользуемся. Идея логического вывода, лежащая в основе представления о доказательстве, является абстракцией от физической причинности и одномерности времени, имеющих место в реальном мире, реально опирается на возможность причинных процессов при реализации вычислений и вне представления о причинности теряет смысл. «Устройства», способные разворачивать доказательства как причинные процессы, будем называть ниже *вычислителями*. Частным случаем вычислителя являются, конечно, мозги математика. Таким образом, вместе с классической причинностью для осмысленного существования мира математических форм необходима принципиальная возможность существования физических устройств особого рода – вычислителей.

Понятия доказательства и вычисления и тем самым математика вообще оказываются не независимыми от физики. Осмысленное существование математики апеллирует к причинной структуре пространства-времени и к существованию физических объектов особого рода – носителей информации и вычислителей.

Ни одна из упомянутых физических предпосылок существования мира математических форм не является тривиальной. Например, в теоретической физике время от времени появляются модели, содержащие многомерное время⁵. Немедленно возникает вопрос: а может ли существующая математика, основанная на одномерной линейной логике и причинности⁶, быть адекватной для описания таких миров? Мы оставляем этот вопрос открытым.

Тот факт, что физические носители информации и вычислители действительно могут существовать, тоже отнюдь не является тривиальным. Дело в том, что носитель информации обязан быть классическим (не квантовым) и качественно хорошо определенным объектом: только в этом случае и будет принципиально возможна воспроизводимая запись и считывание информации⁷, фик-

сация хода и результатов доказательств или вычислений, что обязательно подразумевается в математике. Почти то же самое можно сказать и о вычислителях. Они должны быть качественно хорошо определенными классическими устройствами или, как минимум, они должны проходить через последовательность классических состояний в процессе вычислений (подробнее см. ниже).

Под качественной определенностью классического объекта мы понимаем возможность существования в нем относительно стабильных классических неоднородностей, которые могут использоваться для записи информации или фиксации состояний. Однако не все объекты нашего мира являются классическими и качественно определенными в этом смысле. Более того, материальные объекты, вообще говоря, описываются только квантовой механикой, а существование классических объектов связано с тем, что в некоторых случаях в квантовой теории существует весьма нетривиальный классический предел квантового поведения. Таким образом, существование информации вообще и такого важного аспекта математики, как доказательства и вычисления в частности, связаны с нетривиальным фактом существования классического сектора и качественно определенных классических объектов в квантовом физическом мире.

Заметим, что представление о неразрывной связи природы математики с классическими носителями информации и классическими вычислителями обладают определенной эвристической силой и заставляют несколько по-новому взглянуть на семантический слой реальности (см. *первую статью*). Так, априори нигде не следует, что *каждый* шаг математического доказательства должен быть зафиксирован на классическом носителе для того, чтобы сделать доказательство воспроизводимым. Достаточно, чтобы было классически (информационно) зафиксировано внешнее описание квантового процесса (по сути – реальной достаточно сложной экспериментальной процедуры), приводящего к переходу от одного классически фиксированного шага доказательства к следующему или вообще сразу от исходных посылок к результату. Промежуточные квантовые операции могут в принципе быть реализованы и без фиксации на каких-либо носителях с помощью некоторого идеального устройства – «квантового вычислителя» – квантового аналога машины Тьюринга или эквива-

лентного квантового алгоритмического автомата. Это порождает обобщение понятия доказательства или вычисления и приводит к представлению о квантово-классической математике. Последняя не может быть представлена «на бумаге» или «в голове», а только в работе «квантового вычислителя». Таким образом, в семантическом слое реальности помимо обычной математики может существовать квантово-классический сектор. Важный вывод, который можно сделать из этого квантово-классического обобщения мира математических форм, состоит в том, что невозможно настаивать на том, что семантический слой объективной реальности исчерпывается математикой, понимаемой обычным образом, или даже квантово-классической математикой, как обобщением обычной математики. Нельзя ведь исключить возможность и других расширений. Другое дело, что нашему объективному познанию доступна пока только обычная математика, и можно уже задуматься над квантово-классической математикой.

Физические основания математики не исчерпываются связью с классическими носителями информации, вычислителями и с классической причинностью. Еще несколько связей можно получить, если внимательно рассмотреть, что представляет собой математика на содержательном уровне. На самом фундаментальном уровне математика *содержательно* представляет собой исследование структур на множествах с помощью аппарата доказательств, основанного на математической логике⁸ (программа Бурбаки⁹). Таким образом, в основе математики лежат три фундаментальные сущности: множество, логика, доказательство. По поводу доказательств и их связи с физикой несколько слов уже было сказано выше.

Понятие множества тоже неразрывно связано с представлением о качественно определенном классическом объекте (вещи) в отличие от объекта квантового. Только о классическом объекте можно с определенностью утверждать, принадлежит ли он или нет некоторой совокупности, имеется возможность с полной определенностью отличать один объект от другого, и понятие множества становится в общем случае осмысленным только для классических объектов. Для квантовых объектов (таких, как фотон) понятие принадлежности к множеству в общем случае не определено, для фотонов по двум фундаментальным причинам: во-первых,

из-за полной неразличимости фотонов с одинаковыми наборами квантовых чисел, во-вторых, из-за того, что многие физические ситуации характеризуются дробным или вообще неопределенным числом фотонов. Поэтому, если бы вся реальность имела чисто квантовый характер, но не имела бы классического сектора, понятие множества не могло бы сформироваться. Таким образом, понятие множества, подобно понятию доказательства, связано с физическим делением реальности на квантовую и классическую или, более точно, именно с существованием классического сектора в физическом мире.

То же самое можно сказать и о логике. Математика использует классическую (аристотелеву) логику¹⁰, которая отнюдь не обязана быть ни единственно возможной, ни априорной, но сформировалась на основе макроскопической классической (не квантовой) повседневной практики человека; эмпирическое происхождение логики отмечал еще В.И. Ленин в своих «Философских тетрадах». «Квантовая» практика в принципе могла бы сформировать совершенно другую логику. Таким образом, в основе математической логики также лежит деление физической реальности на классическую и квантовую. В дополнение к этому классическая логика, будучи явно связанной с понятием доказательства и вычисления, является фактически также абстракцией от линейной причинности физического мира, как это уже было отмечено выше. То, что понятие логического следствия, импликации, явно апеллирует к понятию причинности, особенно хорошо видно, если вспомнить машину Тьюринга как универсальный инструмент реализации логических выводов, работа которой имеет существенно причинный характер.

Статус понятий множества и логики как предельных обобщений физического понятия «классического мира» (в отличие от «квантового мира»), был понят давно. Возникла идея, что парадоксы квантовой механики связаны с неадекватным использованием классической логики и теории множеств в области, лежащей за пределами их границы применимости. Это привело к многочисленным попыткам введения «квантовых множеств», «квантовой логики» и даже «квантовой математики», которые восходят еще к Дж. фон Нейману и Дж. Биркгофу (1930-е годы)¹¹. Эти попытки были основаны на предшествующем опыте, который показал, что геометрия мира, которая долгое время представлялась евклидовой

и априорной, на самом деле такой не является, но имеет экспериментальный статус (в общей теории относительности). Особенно четко эту идею представил Хилари Патнэм¹². По аналогии понятия множества и логики, лежащие в основании математики, должны иметь экспериментальный статус. Точнее говоря, понятие множества и аристотелева математическая логика в предельно обобщенной форме представляют физику, соответствующую классическому сектору мира, и в общем случае не соответствуют более общему квантовому поведению. Именно множество и логика отражают возможность деления материального мира на качественно определенные подсистемы – «локальные объекты», которая вовсе не следует из априорных соображений.

Однако программа «квантовой логики» не привела к какому-либо существенно новому пониманию квантовой механики. Постепенно стало ясно, что эта программа приводит только к одной из возможных эквивалентных формулировок квантовой теории, и обычная «классическая» математика остается вполне эффективной и в квантовой области. Почему математика, основанная на классических понятиях множества и логики, остается эффективной в квантовой области, остается загадкой. Этот факт не может не вызывать удивления. Эта загадка является некоторым уточнением вопроса о «непостижимой эффективности математики в естественных науках»¹³. То, что математика эффективна в макроскопическом классическом секторе физики, не вызывает столь глубокого удивления¹⁴, так как математика через понятия множества и аристотелевой логики по построению является предельно обобщенным представлением классических свойств окружающей действительности и причинности. Теория множеств и математическая логика – не абстрактные математические понятия, а только предельно общие математические модели, апостериорным способом соответствующие совершенно реальной физике¹⁵. Теория множеств так же приблизительно описывает возможность выделения подсистем-объектов из окружающей действительности и объединение их в совокупности, как евклидова геометрия приблизительно соответствует реальной геометрии пространства.

Это наводит на мысль, что решение проблемы эффективности математики в квантовой физике можно попытаться искать в следующем направлении. Вся известная нам квантовая динамика

в принципе представима через поведение классических приборов, как на то указывал Нильс Бор. С формальной точки зрения квантовая механика описывает поведение классических приборов в некоторых специальных экспериментальных ситуациях и ничего более. Эти ситуации называются «приготовлениями квантовых систем» и «измерениями над квантовыми системами», но ничто не может нас заставить называть их именно так, если мы того не захотим. Однако поведение любых классических приборов принадлежит классическому сектору физики и органически связано с обычной «классической» математикой, как это было указано выше. Может быть, только поэтому при исследовании квантовой реальности мы не встречаемся с ситуацией, когда обыкновенная математика оказывается нерелевантной. То есть математика эффективно работает при описании классического интерфейса к квантовой физике, но не квантовой физики «самой по себе». С этой точки зрения мы не можем исключить, что за «кулисами», которые представляются интерфейсом к классическим приборам, существует какая-то скрытая квантовая динамика, для которой классическая математика, основанная на понятиях множества и аристотелевой логике, не является адекватной. Здесь может быть царство истинной квантовой логики и квантовой математики. Однако существование такого скрытого сектора, по самому его определению, не имеет операционального смысла, так как наблюдаемость в обычном смысле связана только с классическими приборами. Поэтому в рамках обычной научной методологии этот скрытый сектор должен признаваться лежащим вне науки. Он остается столь же для нас недостижим, как Кантовская «вещь в себе».

Однако насколько действительно необходимой является связь «наблюдаемости» квантового мира с «классическим интерфейсом»? Такая связь совершенно неустранима для науки, понимаемой обычным способом (см. *Методология космологии*), но она не является априорно единственно возможной. В частности, М.Б.Менский развивает квантовую теорию сознания¹⁶ (или, лучше сказать, квантовую теорию объединения сознания и физической реальности), в которой наряду с обычным квантовым измерением с помощью классического прибора рассматривается еще один способ контакта с квантовым миром. Одной из основных функций сознания в этой концепции (Расширенная Концепция Эверетта, РКЭ) является вы-

бор квантовой альтернативы в ситуациях, аналогичных квантовому измерению, в контексте многомировой интерпретации Эверетта (см. цитированную книгу М.Б.Менского для подробностей). В этом смысле отсутствие бодрствующего сознания (сон, медитация) означает прекращение выбора квантовых альтернатив в ветвящемся эвереттовском мире. Хотя, насколько я понимаю, отсюда логически еще не следует с необходимостью, что сознание непременно входит тогда в «информационный» контакт со всеми квантовыми альтернативами одновременно, а не просто погружается «в себя», но в РКЭ предполагается, что это может быть именно так, и М.Б.Менский аргументирует эту идею многочисленными соображениями как эвристического, так и практического характера. Во время такого контакта сознание ведет себя как существенно квантовая система. Вход в контакт со многими альтернативами одновременно может влиять на работу основной функции сознания как селектора альтернативы в том смысле, что «ознакомившись» со всем многообразием квантовых альтернатив, сознание селектирует среди них наиболее предпочтительную для себя, ведь селекция – функция сознания. Этот выбор может и не рефлексироваться на сознательном уровне. Что здесь действительно важно, так это то, что никаким эмпирическим способом невозможно ни доказать, ни опровергнуть того, что такая селекция имела место. Это обстоятельство недвусмысленно продемонстрировано М.Б.Менским в работах, посвященных РКЭ.

Мне всегда казалось недостатком РКЭ то, что в этой концепции отсутствует математическая модель того, как информация из многих квантовых альтернатив попадает в сознание, анализируется там, и фиксируется предпочтительная альтернатива. С чисто формальной стороны проблема здесь состоит в том, как описать эту селекцию без нарушения когерентности волновой функции мира. В концепции РКЭ есть, правда, понятие «посткоррекции»¹⁷, описывающее благоприятный выбор альтернатив сознанием, а также и жизнью вообще, но это описание имеет феноменологический характер, напоминает проекционный постулат квантовой механики, не описывая «динамического» механизма анализа альтернатив квантовым сознанием без нарушения когерентности.

В свете упомянутого выше предложения о пути решения вопроса об эффективности математики в квантовой области можно понять, в чем в принципе могла бы заключаться причина отсут-

ствия «динамической» математической модели анализа альтернатив. Как было указано выше, причиной эффективности «классической» математики в квантовом секторе может быть то, что математика описывает поведение классического интерфейса к квантовому сектору, а не последний сектор «как таковой». Но ситуация анализа квантовых альтернатив квантовым сознанием, описанная М.Б.Менским, не предполагает никакого классического интерфейса. Поэтому аргумент, что «классическая» математика эффективна в квантовой области из-за того, что она описывает на самом деле только классический интерфейс к квантовой области, в рассматриваемой ситуации не работает. Поэтому в рамках этой логики нет никаких оснований предполагать, что «классическая» математика и математические модели, которые строятся на ее основе, будут эффективны в этой чисто квантовой ситуации. Потому, быть может, и построить математическую модель анализа альтернатив в обычном смысле в принципе невозможно. Может быть, мы впервые столкнулись с миром «истинно квантовой» логики и квантовой математики, в котором обычная математика и логика утрачивает свою «непостижимую эффективность».

Однако не впадаем ли мы в ересь? Напомним и подчеркнем еще раз, что представление о «наблюдаемости» вне контакта с классическими приборами находится за пределами обычно понимаемого научного метода. Это же можно сказать о значительной части концепции РКЭ М.Б.Менского и всего приведенного здесь в связи с этой концепцией анализа. Однако, по нашему мнению, рано было бы говорить, что все это находится вообще вне науки. Стандартным образом понимаемый научный метод оказывается слишком тесным в современных исследованиях во многих случаях. Этот вывод следует прежде всего из анализа методологии современной космологии. В рамках строго и догматически понимаемого научного метода и в особенности принципа наблюдаемости) современная космология работать не может. В частности, там обязательно приходится иметь дело с операционально неопределимыми (т. е. ненаблюдаемыми) вероятностями и другими объектами, не имеющими ясного операционального смысла. Мы подробно аргументировали это в *Методологии космологии*. Это приводит к представлению о существовании границы применимости стандартной научной методологии, основанной на строгом принципе наблюдаемости, и

констатацией того, что выход за эти границы уже произошел и, более того, привел к чрезвычайно впечатляющим результатам вроде предсказания анизотропии космологического микроволнового фона. Приходится с чрезвычайной, конечно, осторожностью и только по мере крайней необходимости прощупывать возможности выхода за эти границы. Концепция М.Б. Менского с этой точки зрения представляет собой очень интересный «пробный камень».

Резюмируем. Все три фундаментальные сущности, лежащие в основе математики – множество, логика, доказательство, неразрывно связаны с возможностью выделения в физической реальности классического сектора и классических качественно определенных объектов. Помимо этого, логика и понятие доказательства прямо связаны с физической причинной структурой нашего мира. Возможность существования классического сектора и линейная причинность есть физическая основа существования математики.

2. Вопрос о пространственно-временной однородности мира математических форм

Другой важный аспект проблемы связи бытия мира математических форм с материальным миром затронут в статье Ли Смолина¹⁸. Вопрос заключается вот в чем. Из того, что некий объект обладает собственной реальностью, автоматически вовсе не следует, что вопрос о том, «где» или «когда» он существует, является осмысленным. Никакой прямой логической связи здесь нет. В этом легко убедиться еще раз, взглянув на структуры критериев (R), (R1), (R2) из *первой статьи*. Так является ли этот вопрос на самом деле осмысленным в отношении мира математических форм или нет?

Вневременная (универсальная) природа математики очевидна Роджеру Пенроузу и даже им не обсуждается: «...Существование мира математических идей опирается на фундаментальный, вневременной и универсальный характер этих самых идей и на тот факт, что описываемые ими законы никоим образом не зависят от тех, кто их открыл»¹⁹. Напротив, Ли Смолин прямо задается этим вопросом. Фактически его анализ основан на принципе наблюдаемости, которого он старается жестко придерживаться в своей упомянутой выше статье.

Рассматривается игра в шахматы. Будучи математической игрой, она подчиняется некоторым вполне определенным математическим законам. Эти законы могут быть объективно познаны и обладают в этом смысле самостоятельной объективной реальностью. Они уже существуют вместе с заданными правилами игры, хотя и не все еще нам известны. Но, настаивает Ли Смолин, говорить о законах шахматной игры до того, как эта игра была действительно придумана людьми, *бессмысленно*. Мы должны считать, что до изобретения шахмат всей этой «шахматной математики» не существовало, но в момент изобретения она появилась и существует с этих пор вполне объективно. Он рассматривает следующую альтернативу этому положению. «Последовательный платонист», настаивающий на вневременной природе реальности математики²⁰ (подобно Роджеру Пенроузу, которого, однако, Ли Смолин прямо не упоминает), может сказать, что в мире математических форм существует бесконечное множество, представляющее все возможные математические игры, и вместе с ним все «теоремы шахмат» вместе с полными теориями всех других математических игр. Ли Смолин против этой точки зрения выдвигает следующее возражение: множество «всех математических игр» слишком велико и не имеет по сути операционального смысла, поэтому такое предположение не дает ничего нового с практической точки зрения и только запутывает дело, фактически нарушая принцип наблюдаемости. На этом основании он вневременную природу шахматной математики решительно отвергает. Затем, не принимая «последовательно платоновскую» идею вневременной природы шахмат, он делает очень сильное и важное обобщение. Как и в случае «шахматной математики», зависимой от времени структурой обладает, вообще говоря, абсолютно вся математика, т. е. элементы идеального мира математических форм не обладают вневременным существованием, а появляются на свет только в тот момент, когда для этого созревают некоторые специфические условия в реальном физическом мире и в связи с некоторыми событиями реального мира. Именно требуется, чтобы математический объект являлся абстракцией чего-то реально существующего. Тем самым Ли Смолин совершенно недвусмысленно настаивает на том, что объективно существующий мир математики, который он вовсе не отрицает, не имеет статической вневременной природы.

Напротив, это объект, динамически зависящий от времени. Таким образом, то, что очевидно и даже не обсуждается Роджером Пенроузом, категорически отвергается Ли Смолиным. Это говорит о том, что вопрос на самом деле нетривиален.

Здесь необходимо сделать несколько замечаний по поводу характера аргументации Ли Смолина. В действительности множество всех математических игр, по крайней мере с точки зрения классической (не конструктивной) математики, отнюдь не является ни «слишком большим» (на чем настаивает Смолин), ни лишенным смысла. Кроме того, вполне можно представить себе теоремы математики, уже сейчас приложимые к любой математической игре, надо только хорошо определить, что такое математическая игра. В этом смысле множество всех игр, в том числе и еще не придуманных, надо рассматривать как актуально существующее в любой момент времени. Вневременная точка зрения на математический мир снова обретает право на существование, Ли Смолин ее отнюдь не закрыл. Однако он действительно поставил очень важный вопрос, касающийся природы объективности математического мира, и он будет более детально рассмотрен нами в следующем разделе статьи.

Позиция Ли Смолина требует одного существенного уточнения. Смолин рассматривал природу математики в упомянутой статье в связи со своей идеей о существовании единого фундаментального времени, отличного от локального времени общей теории относительности, от приближенного космологического времени моделей Фридмана-Робертсона-Уокера и вообще не имеющего никакого ясного контрагента в современной физике. Это фундаментальное время очень близко по сути абсолютному времени Ньютона, и основная идея Ли Смолина заключалась в том, что фундаментальные законы физики могут зависеть от такого фундаментального времени. Когда Смолин писал о зависимости объективного мира математики от времени, он тоже имел в виду именно это спекулятивное фундаментальное время. Ввиду очень высокой степени спекулятивности использованного им понятия времени, его мысль о возможной зависимости математики от фундаментального времени является просто не очень понятной. Неясно, что в точности может быть аргументом такой зависимости, так как о подходящем фундаментальном времени пока не известно

ничего определенного²¹. Однако идее Ли Смолина можно придать более простой и ясный смысл. Надо вместо зависимости мира математических форм от спекулятивного фундаментального времени поставить вопрос о возможной его зависимости от пространственно-временной области или даже точки, для которой данный платоновский мир определен; такой же вопрос можно поставить и в отношении фундаментальных законов физики. Пространственно-временные области и точки являются ясно определенными геометрическими объектами во всех современных областях физики, включая ОТО²², и вопрос о зависимости чего бы то ни было от пространственно-временных координат является во всяком случае осмысленным. В частности, изобретение шахмат имело четкую пространственно-временную привязку, и появление игры может оказывать причинное влияние на внутреннюю часть светового конуса будущего, берущего начало в точке изобретения. Вопрос о том, существует ли «шахматная математика» только внутри конуса будущего точки пространства-времени, отвечающей событию изобретения шахмат, или вообще везде, является во всяком случае осмысленным.

Можно заметить, что обсуждаемый Смолиным вопрос выглядит наиболее актуально для специального подмножества мира математических форм, которое отвечает математическим формулировкам реальных физических законов и другим математическим моделям, имеющим отношение к чему-то реально существующему в материальном мире. Можно ли говорить о существовании некоторого физического закона вне той пространственно-временной области, где он реально работает? Можно ли говорить о существовании законов атомной физики до того, как во Вселенной возник первый атом? Например, на стадии кварк-глюонной плазмы, вскоре после горячего Большого взрыва, когда никаких устойчивых атомов существовать не могло? Вопрос отнюдь не тривиален. Определенные физические постоянные, от которых зависят законы атомной физики, возникли после нескольких нарушений симметрии при охлаждении Вселенной. Но возможность нарушения симметрии «потенциально» существовала уже и на стадии кварк-глюонной плазмы, и даже раньше, она была закодирована в фундаментальных законах физики, которые реально действовали в это время и продолжают в «скрытой» форме действовать и сейчас,

именно в форме, когда фундаментальная симметрия этих законов скрыта спонтанным нарушением симметрии. В этом смысле законы атомной физики как будто существовали в виде некоторой потенции. Все они в принципе могут быть «вычислены», если стартовать с более общих законов физики периода кварк-глюонной плазмы или еще более ранних. Не думаю, однако, что, договорившись о «потенциальном существовании», мы что-то на самом деле поняли. А существовали ли законы шахмат (в потенции?) в момент Большого взрыва? А математические законы рынка? Уже сейчас мы можем сформулировать альтернативу, которую будем обсуждать и дальше: 1) либо объективный мир математических форм весьма напоминает физическое поле, имея явную пространственно-временную привязку, 2) либо он имеет абсолютное внепространственное-вневременное существование, но тогда мы должны допустить, что законы шахмат существуют уже в момент Большого взрыва. Пока может показаться, что первый вариант явно более предпочтителен, так как следствия второго варианта кажутся «абсурдными». Но ниже мы покажем, что и первый вариант ведет к не менее «абсурдным» следствиям.

3. Анализ возможной полевой структуры математики с точки зрения принципа наблюдаемости

В разделе 1 мы установили, что объективно существующий мир математических форм для нас, мыслящих существ и наблюдателей, не может проявить себя никак иначе, кроме как будучи кодированным классической информацией на некоторых материальных носителях, причем предполагается, что математические доказательства, записанные на носителях, могут мыслиться как программы, кодирующие реальные причинные процессы, выполняемые классическими же вычислителями.

Вряд ли существованию мира математики можно было бы придать хоть какой-то смысл, если бы физические носители информации и вычислители принципиально отсутствовали. Как минимум в этом, с чисто операциональной точки зрения, заключается связь мира математики с физической реальностью. Здесь явно напрашивается аналогия. Роль классических носителей ин-

формации и вычислителей в отношении мира математики весьма напоминает роль классического прибора в отношении квантовых объектов. Действительно, структура мира математики может быть проявлена для нас, только будучи представленной на классических носителях информации и процессами доказательств, реализуемых классическими вычислителями; структура квантового мира может быть выявлена, только будучи представленной показаниями классических приборов²³. Если продолжить эту аналогию, то можно выстроить такую цепочку заключений. В квантовой теории работает принцип наблюдаемости: что не наблюдаемо, то и не существует объективно. Этот принцип показал свою исключительную плодотворность в понимании сути квантовой теории: поскольку точные значения импульса и координаты частицы одновременно не могут быть измерены, то они одновременно просто не существуют, и т. д. В отсутствие классических материальных носителей информации и вычислителей идеальный мир математических форм утратил бы контакт с материальным миром – он стал бы принципиально ненаблюдаемым. Это как будто бы и по аналогии с опытом квантовой теории должно быть эквивалентно тому, что мир математики в этом случае просто не существовал бы подобно тому, как в квантовой теории для частицы не существуют одновременно точные значения координаты и импульса. Однако поспешных выводов делать не следует.

Квантовые объекты обыкновенной квантовой механики являются объектами «лабораторными» и, более того, в большинстве случаев микроскопическими, за исключением некоторых очень специальных макроскопических объектов вроде токов в сверхпроводниках, скореллированных пар частиц с большими базами и некоторых других. Для таких объектов простой и ясный смысл имеют понятие наблюдаемости и понятие воспроизводимости измерений²⁴. Но мир математики – это нечто совсем иное. Это не объект лабораторного исследования. Как подробно аргументировалось в *Методологии космологии*, наблюдаемость и воспроизводимость наблюдений в космологии (вообще говоря), где Вселенная тоже не является лабораторным объектом, утрачивает свой простой смысл, и связь наблюдаемости с существованием объекта может становиться существенно более сложной и опосредованной; мы уже упоминали выше это обстоятельство в связи с концепцией

М.Б.Менского. Из-за этого существованию некоторых прямо не наблюдаемых объектов (в *Методологии космологии* упоминались «другие вселенные» Мультиверса, инфляционной космологии и операционально неопределимые космологические вероятности) можно и нужно придавать определенный смысл. Между миром математических форм и космологией может существовать в этом смысле глубокая аналогия. Она может заключаться в том, что и в отсутствии материальных носителей информации и вычислителей остается возможность существования мира математических форм в каком-то специальном (высшем) смысле, подобно тому, как приходится допускать существование прямо не наблюдаемых и операционально неопределимых объектов в космологии. Мы, однако, пока не можем сказать ничего определенного по поводу того, что именно это за высший смысл. Попробуем поэтому для начала придерживаться более прямолинейной точки зрения, согласно которой отсутствие операционально определенной связи мира математики с физической реальностью в гипотетическом случае отсутствия материальных носителей информации и вычислителей должно было бы означать просто отсутствие самого мира математики.

Такой подход немедленно приводит к следующему вопросу. Существование классического сектора и классических качественно определенных объектов не является обязательным атрибутом Вселенной. Это обстоятельство следует из современных космологических представлений (см. недавние обзоры и монографии²⁵), причем по крайней мере по двум разным причинам. Во-первых, на самых ранних стадиях развития нашей собственной Вселенной условия были таковы, что ни носители информации, ни тем более вычислители существовать не могли: либо классического сектора реальности еще не существовало – существовало всё пребывало в квантовом режиме, либо мир пребывал в состоянии вакуума (на стадии инфляции в инфляционной космологии). Во-вторых, в рамках представлений инфляционной космологии и многомировой интерпретации квантовой космологии (см. детали в цитированных выше обзорах и книгах по космологии, а также в наших статьях²⁶) возникает представление о многих вселенных с различными свойствами – о Мультиверсе. В рамках этих представлений локальные вселенные в принципе могут обладать различной физикой, могут существовать и такие вселенные, в которых классический сектор

с нужными свойствами не образуется на протяжении всей истории их существования или, например, время оказывается многомерным, исключая линейную причинность. Релевантна ли такому «локальному» миру математика и можно ли его охарактеризовать информационно, несмотря на то, что математика и информация не могут быть определены внутри такой вселенной из-за принципиального отсутствия носителей информации, вычислителей и т. д.? Релевантна ли математика ранним стадиям эволюции нашей собственной Вселенной? Оставаясь в рамках той логики, в рамках которой договорились пока работать (ненаблюдаемо – не существует), мы должны согласиться, что не релевантна. Как тогда следует расценивать наши действия, когда мы «миры без математики» пытаемся рассматривать с использованием математических моделей? Или достаточно иметь необходимые физические предпосылки существования математики хотя бы в одной какой-нибудь области пространства-времени Мультиверса для того, чтобы она в каком-то смысле существовала везде? Почему мы так должны думать?

Важно отметить, что этот сорт вопросов очень близок тому кругу проблем, который обсуждался в разделе 2 в связи с возможной зависимостью мира математических форм от пространственно-временной области, для которой он определен (на примере шахмат Ли Смолина), – с возможной полевой структурой математики. Там вопрос о структуре математической реальности ставился в зависимость от существования некоторых материальных объектов (например, атомов – чтобы существовали законы атомной физики) или некоторых событий (изобретение шахмат – чтобы существовала шахматная математика) в реальном мире. Когда мы рассматриваем существование классического сектора и классических носителей информации как предпосылку существования математики вообще, мы по существу ставим тот же вопрос о зависимости математической реальности от пространства-времени, но в предельно жесткой форме: рассматриваются такие физические условия, которые могут ограничить не только существование отдельных структур в математической реальности (вроде математики шахмат), но осмысленное существование мира математической реальности как таковой. Мы возвращаемся к уже упомянутой выше альтернативе, но в усиленной форме: 1) **либо мы должны считать, что мир математических форм имеет вневременную и внепространственную**

природу, – тогда законы шахмат в мире математических форм существуют уже в момент горячего Большого взрыва и даже раньше, 2) либо мы должны допустить, что мир математики находится в зависимости от материального мира и имеет полевую структуру, – тогда следует допустить существование областей пространства-времени, для которых математика вообще не релевантна. Если мы не хотим верить в то, что законы шахмат существуют уже в момент Большого взрыва, так как на этом этапе невозможно говорить о материальных объектах, которые описываются этими законами, то, *следуя той же логике и в точности по той же причине*, мы должны допустить существование областей без математики вообще по причине отсутствия других материальных объектов – **потенциальных носителей информации или вычислителей**. Мы пока не намерены настаивать на определенном выборе одной из возможностей, но если намерены придерживаться логики вообще, то, как нам представляется, надо признать, что иного выбора нет.

В действительности ситуация даже еще сложнее. Мы не упомянули еще два важных обстоятельства.

Во-первых, если мы хотим твердо следовать логике «не наблюдаемо – не существует», то нужно учесть, что даже в случае существования физических носителей информации в пределах любого горизонта событий (вроде видимой части нашей Вселенной) может быть представлен хоть и весьма большой, но принципиально конечный объем информации²⁷. В этом случае математические объекты, которые для своего представления требуют объема информации большего, чем может быть представлено внутри данного горизонта, должны быть признаны несуществующими внутри этого горизонта, так как принципиально не могут быть определены операционально. Эта ситуация кажется совершенно неудовлетворительной, так как в математике, даже понятой финитно-конструктивно, определенно подразумевается возможность существования объектов сколь угодно высокой конечной сложности, требующих для представления сколь угодно больших объемов информации.

Второе еще не упомянутое обстоятельство имеет отношение к связи математики и культуры. Принципиальная возможность существования носителей информации и вычислителей, способных воспроизводить причинные цепочки логических выводов, является необходимым условием возможности контакта мира математи-

ческих форм с материальным миром, но не является достаточным условием. Сами по себе пассивные носители информации не станут вдруг представлять доказательства и прочие математические формы, а вычислителям тогда нечего будет воспроизводить. Для того, чтобы структуры мира математических форм переносились на носители информации, должен существовать посредник, который бы организовал процесс отображения математических форм на носители. Как известно, этим посредником являются субъекты познания, которые функционируют в контексте культуры. В этом смысле роль последней вполне аналогична роли носителей информации и вычислителей. Культура вместе с носителями информации и вычислителями играет роль того «устройства», которое отображает содержимое идеального мира математических форм в реальном мире, подобно тому, как классический прибор проявляет структуру квантового мира (см. выше). При этом культура оказывается таким же необходимым компонентом, как и все прочие физические предпосылки математики. В этом смысле культура является равноправной «деталью» этого «устройства». Культура организует канал связи, по которому информация из идеального мира математики перекачивается и фиксируется на носителях. Неверно было бы сказать, что объективный мир математики существует в культуре. Мир математики существует объективно сам по себе, а культура, по крайней мере с формальной точки зрения, играет роль канала связи, передающего данные из мира математики на носители информации, в сознание людей в том числе. Если полученные математические «тексты» сами считать элементами культуры, то можно сказать, что она отображает в себе в виде некоторых информационных паттернов фрагменты идеального мира математических форм. В качестве спекуляции можно упомянуть о возможности, что мир математических форм – это всего лишь та часть объективно существующего семантического слоя реальности, который способна в себе отразить культура, но семантический слой реальности не обязан исчерпываться только этим. Конечно, культура не только передает фрагменты мира математики на носители, но и делает это для каких-то своих внутренних нужд, у нее есть цели, но это уже не имеет прямого отношения к объективной природе математики, в которой никакие цели не прописаны. В принципе в качестве канала связи можно представить себе

и что-то совсем другое, например, устройство вроде автономного компьютера, которое бы занималось такой перекачкой чисто механически, например, доказывая одну теорему за другой в порядке их Гёделевской нумерации в какой-нибудь формальной системе, без всякой цели. Ниже мы упомянем еще одну очень важную разновидность «канала связи».

Связь математики с культурой ставит вопрос об областях пространства-времени, для которых существование математики является осмысленным, еще более остро. Так как для связи идеального мира математики с материальной действительностью (для «наблюдаемости» математики) нужна не только принципиальная возможность существования носителей информации и вычислителей, но и культура – канал связи или другое подобное «устройство», то, следуя все той же логике (ненаблюдаемо – не существует), придется заключить, что мир математики может существовать только в областях, где есть такие «каналы связи». Означает ли это, что миры, существующие вне причинной связи с такими областями, не могут рассматриваться в рамках математических моделей? Как нам представляется, это начинает приближать состояние дел к абсурду, хотя мы далеки от мысли, что абсурдность такого результата действительно доказана. Что мы делаем, когда пытаемся строить что-то вроде математической модели Мультиверса как целого? Ведь не обязательно для всех областей Мультиверса в пределах их причинного горизонта найдется культура – канал связи, способный сделать идеальный мир математических форм проявленным.

Анализ, представленный выше, склоняет нас к мысли, что для мира математических форм статическая вневременная и внепространственная мода существования выглядит несколько более предпочтительной, чем какая-либо зависимость от пространства-времени и обыкновенной материи в духе предположения Ли Смолина. Если мы признаем за миром математики вневременное-внепространственное существование, то значит, прямолинейный аргумент типа «ненаблюдаемо – не существует» не работает. Это не должно удивлять, так как, повторим, похожая ситуация имеет место в космологии (см. *Методология космологии*). Но тогда – если математические законы рынка существуют сейчас, то они существовали и в момент Большого взрыва! И шахматы тоже не были выдуманы. Правила игры были только выбраны из множества всех

возможных правил математических игр, которое объективно существует в семантическом слое реальности само по себе, хоть мы и не знаем, какие еще замечательные игры там представлены. Такова логика, здесь нет никакого произвола. От парадоксальности ситуации полностью уйти не удастся.

Последний вопрос, который хотелось бы обсудить, связан с идеей, что физика выводима из чистой информатики или, в несколько иной редакции, что информация первична, а физика вторична. “It from bit”, – от Джона Арчибальда Уилера, или «Вначале был логос», – от Иоанна. Эта идея столь же глубока, сколь и отношение к ней в физическом сообществе неоднозначно. Она предстает в самых разнообразных обликах и имеет чрезвычайно обширную литературу, которая заслуживает отдельного обзора. Мы, однако, не будем пытаться здесь его дать²⁸, это увело бы слишком далеко от основной темы статьи. Отметим, что в нашей стране мысль о первичности информации последовательно отстаивает И.М.Гуревич²⁹ и очень к этому близка концепция семантического поля В.В.Налимова³⁰. Упомянем также две свежие статьи на эту тему из электронного архива препринтов³¹, где можно найти и обзор. Тема представляется настолько актуальной, что виртуальный Институт Фундаментальных Исследований (FQXi, Foundational Questions Institute, <http://fqxi.org/>), объединяющий многих ведущих физиков с мировыми именами, в 2010–2011 гг. объявил конкурс научных работ на тему: «Является ли реальность цифровой или аналоговой?»

Здесь мы остановимся только на одной стороне вопроса о первичности информации либо физики. Не противоречит ли идея, что информация первична, а физика вторична, тому, что информация требует наличия физических носителей, имеющих классическую природу, чтобы получить осмысленное существование в материальном мире? Казалось бы, чтобы говорить о возможности существования информации, надо *сначала* иметь физические носители, устойчивыми неоднородностями которых можно кодировать информацию. Информация может быть только вторичной по отношению к физике. Однако столь прямолинейное заключение было бы слишком поспешным. Действительно, мир математики заведомо имеет информационную природу (вычисления по сути – процессы преобразования информации), но, как мы видели, попытка связать

его существование с фактическим наличием/отсутствием физических носителей информации приводит к трудноразрешимым парадоксам. Какая-то форма статичного, внепространственного и вневременного существования мира математических форм, в том числе в отрыве от существования реальных физических носителей информации, кажется более предпочтительной, хотя ведет к своим трудностям. Таким образом, хотя информация, вне всяких сомнений, первична по отношению к миру математики, очень возможно, что наличие носителей информации не требуется для объективного существования математической реальности. Совершенно аналогично и по этой же причине нельзя исключить первичность информации по отношению к физике. Как минимум, мысль о первичности информации не выглядит абсурдной.

Отсюда, конечно, не следует, что информация действительно *является* первичной по отношению к физике в том смысле, что всю физику можно однозначно вывести из каких-то математических структур или информационных соображений чисто логическим путем. Действительным фактом является лишь следующее. Реальные физические законы действительно имеют математическую природу и, следовательно, свои идеальные прообразы в объективно существующем мире математических форм. Можно сказать, что «проявление» соответствующих математических структур в виде физических законов материального мира *весьма напоминает* (и не более того, мы не делаем более сильных утверждений) разновидность канала связи между идеальным миром математики и материальным миром подобно тому, как таким каналом связи является культура, хотя, конечно, природа этих каналов связи совершенно различна. Заведомо не все, что имеет место в мире математических форм, может быть представлено в структурах материального мира в виде физического закона или физической величины. Поэтому такой «канал связи» (если уж обсуждать эту концепцию) заведомо обладает ограниченной пропускной способностью. Например, разрывная в каждой точке функция Дирихле не может прямо соответствовать никакой связи между физическими величинами, поскольку они не могут представляться вещественными числами с актуально бесконечной точностью³². Таким образом, канал «явления законов физики» определенно способен проводить некоторую селекцию матема-

тических объектов как потенциальных законов физики, но большее утверждать трудно. Являются ли ограничения пропускной способности этого канала связи настолько сильными, что они способны пропустить один-единственный вариант согласованной физики, и тем самым вся физика однозначно выводима из математики? Ответа на этот вопрос нет, но, на наш взгляд, важно уже то, что вопрос можно сформулировать в такой форме.

Несомненным является то, что хотя бы один такой согласованный набор, а именно, набор законов, представляющих нашу собственную Вселенную, действительно был пропущен через канал связи «проявления физических законов». Следовательно, этот набор существует в идеальном мире математических форм, хотя неизвестно, является ли он в своем роде единственным. И не видно никаких оснований для такого предположения.

Резюмируем. Объективная реальность распадается как минимум на материальный мир, который в современной науке представляется Вселенной в широком смысле слова (может включать или не включать Мультиверс и т. д. — в зависимости от космологических моделей и уровня анализа), и объективный семантический слой реальности, включающий в себя как минимум мир математических форм. Объективная реальность не тождественна материальной Вселенной, это нечто большее. Между миром математических форм и материальной Вселенной имеются нетривиальные связи. С одной стороны, мир математических форм содержит в себе некоторое подмножество, являющееся прообразом Вселенной в виде набора согласованных физических законов, которые ее описывают. Отношение этого прообраза к материальной Вселенной напоминает работу канала связи «явления физических законов», связывающего идеальный мир математики с материальным миром. С другой стороны, базисные ингредиенты мира математики, такие, как понятие множества и логического вывода, сами являются абстракциями или моделями определенных физических аспектов Вселенной, а именно, моделями качественной определенности классического сектора физики и классической причинности. В этом смысле существование физического классического сектора и причинности являются предпосылками осмысленности мира математических форм. Впрочем, не исключено (это является спекуляцией), что привычные нам понятия мно-

жества и логического вывода выделены из более широкого слоя объективной семантической реальности только нашей способностью взаимодействовать с семантическим слоем реальности и отображать его в фигурах культуры, а сам этот слой в каком-то неопределенном пока смысле может содержать и области, не связанные с этими понятиями, и для нас (пока, во всяком случае) недоступные.

На данный труд меня в очень существенной степени вдохновили плодотворные идеи и постоянная поддержка многих моих друзей и коллег. Особенно я благодарен В.А.Анисимову, А.В.Болдачеву, Л.М.Гиндилису, И.М.Гуревичу, В.В.Казютинскому и М.Б.Менскому, каждый из которых внес что-то существенно свое. Я благодарен также всем участникам круглого стола «Космология и философия» в ИФ РАН за обсуждение этой работы.

Примечания

- ¹ *Панов А.Д.* Природа математики, космология и структура реальности: объективность мира математических форм // Космология, физика, культура / Отв. ред. В.В.Казютинский. М., 2011.
- ² *Панов А.Д.* Методологические проблемы космологии и квантовой гравитации // Современная космология: философские горизонты / Под ред. В.В.Казютинского. М., 2011. С. 185–215.
- ³ Когда мы здесь говорим о квантовой причинности, имеется в виду причинность стандартной (копенгагенской) интерпретации квантовой механики. В этом случае считается, что причина (начальное состояние системы) определяет следствие (результат эксперимента) лишь вероятностным способом. Но в многомировой (эвереттовской) интерпретации все результаты квантового эксперимента сосуществуют одновременно, а сама теория строго причинным способом описывает связь корреляций, возникающих в конечном состоянии, с начальным состоянием. Это означает фактически возврат к классическому идеалу причинности, но на новом уровне (осуществленная мечта Эйнштейна: Бог не играет в кости).
- ⁴ Реально доказательство чаще имеет структуру дерева, содержащего несколько веточек, ведущих от исходных посылок, сливающихся по пути и сходящихся наконец к корню – результату всего процесса. Это несущественное усложнение не играет принципиальной роли. Машина Тьюринга, в частности, проходит ветви доказательства последовательно, одну за другой, выстраивая весь процесс в линейную цепочку. Параллельный компьютер может проходить ветви одновременно. Тезис Тьюринга-Черча говорит о том, что все такие способы эквивалентны.

- ⁵ См. например: *Pirogov Yu.F.* Symplectic vs pseudo-Euclidean space-time with extra dimensions (arXiv:hep-ph/0105112 (2001); *George A.J.* Sparling. Spacetime is spinorial; new dimensions are timelike (arXiv:gr-qc/0610068 (2006); *Shun-Zhi Wang.* Hexad Preons and Emergent Gravity in 3-dimensional Complex Spacetime (arXiv:1007.0067 [gr-qc] (2010).
- ⁶ Линейной причинностью мы будем называть такую ситуацию, когда между двумя событиями либо нет никакой причинной связи, либо одно причинно предшествует другому. В многомерном времени, вообще говоря, линейной причинности нет.
- ⁷ Для квантовых объектов копирование информации запрещено теоремой неклонирования состояния (no-cloning theorem): вообще говоря, невозможно создать копию квантового состояния, не разрушив исходное состояние. См.: *Wootters W.K. and Zurek W.H.* A Single Quantum Cannot be Cloned // *Nature*. 1982. Vol. 299. P. 802–803; *Менский М.Б.* Человек и квантовый мир. Странности квантового мира и тайна сознания. Фрязино, 2007. С. 301–304.
- ⁸ С формальной точки зрения математика может быть представлена также как «игра» с преобразованием текстов по определенным формальным правилам (как в программе Гильберта). Но этот подход основан на полном устранении понятия содержания из математики, и в данном случае он нас не интересует. Имеется точка зрения, что существенной альтернативой теории множеств при построении фундамента математики может быть теория категорий. Однако понятие категории (см.: *Голдблат Р.* Топосы. Категорный анализ логики. М., 1983) явно строится как определенная структура над множествами – так же, как и другие абстрактные математические теории вроде теории групп и т. д. Категория *C* определяется двумя базисными множествами, называемыми множеством *C*-элементов и множеством *C*-морфизмов (морфизмы часто называются просто стрелками); для морфизмов вводятся определенные аксиомы (имеющие отношение к закону композиции морфизмов и определяющие так называемые единичные морфизмы) и т. д., – все как в обычной аксиоматической теории. Правда, вместо «множеств» при аксиоматическом определении категории говорят о «совокупностях», что, как мне представляется, не меняет сути. Поэтому, на мой взгляд, теорию категорий можно рассматривать как одну из частных структур в теории множеств. Особенностью данной ситуации является, правда, то, что среди всевозможных категорий имеется так называемая «категория множеств» (категория **Set**), в которой множество элементов совпадает с классом всех множеств, а морфизмы являются отображениями множеств друг на друга в обычном смысле. Такая категория оказывается тождественной всей теории множеств. В этом смысле теорию категорий можно считать включающей теорию множеств как частный случай. В общем, в некотором (не совсем простом) смысле теория категорий и теория множеств включают друг друга. Фактически они эквивалентны. Это не противоречит тому, что на языке категорий могут быть построены структуры, как будто бы обобщающие понятие множества, например, нечеткие множества. Но это похоже на то,

как на евклидовой плоскости могут быть реализованы модели неевклидовой геометрии (модель Клейна и др.) или как в метатеориях на основе классической аристотелевой логики строятся модели неклассических логик (см. более подробно далее по тексту).

- ⁹ Н.Бурбаки по этому поводу пишет: «...Если прежде могли думать, что каждая отрасль математики зависит от специфических интуиций, дающих ей первичные понятия и истины, и потому для каждой отрасли необходим свой специфический формализованный язык, то сегодня мы знаем, что, логически говоря, возможно вывести почти всю современную математику из единого источника – Теории множеств. Таким образом, нам будет достаточно изложить принципы какого-то одного формализованного языка, рассказать, как сформулировать на этом языке Теорию множеств, а затем постепенно, по мере того, как наше внимание будет направляться на различные отрасли математики, показывать, как они включаются в Теорию множеств» (*Бурбаки Н. Теория множеств*. М., 1965. С. 25).

- ¹⁰ Некоторые исследуемые в математике «неклассические» логики, связанные с обобщением понятия истинности (многозначные, нечеткие, модальные и т. д.) представляют собой некоторые модели в обычной аристотелевой логике, но не определяют полные логики в точном смысле этого слова. В обычной двузначной аристотелевой логике есть только два значения истинности, и вполне понятно, что, например, про определенный математический символ всегда можно сказать с определенностью, записан он на бумаге в данном месте или нет. В последовательной, «настоящей» многозначной логике на вопрос о том, представлен ли данный математический символ в данном месте текста, должна быть обеспечена возможность дать ответ не только в форме «да-нет», а приписать присутствию символа произвольный статистический вес или модальность, как того требует расширенный набор истинностных значений. То есть сами математические тексты должны стать чем-то многозначным. Такие объекты люди помыслить, видимо, неспособны, и работать с ними невозможно. Поэтому и «настоящих» многозначных логик нет. В аристотелевой логике логический метаязык исследователя и логика исследуемой системы согласованы между собой. В различных многозначных логиках это невозможно обеспечить. «Квантовые» логики вообще не являются логиками, так как не поддерживают понятие дедукции (или, как минимум, с определением этого понятия есть большие проблемы). Они являются алгебрами специального вида (аналогами булевой алгебры). Впрочем, см. возражения: *Pavicic M., Megill N.D. Is Quantum Logic a Logic?* (arXiv:0812.2698v1 [quant-ph]). Интуиционистские и конструктивные логики являются лишь подмножествами обычной аристотелевой логики, запрещая некоторые виды «сомнительных» рассуждений (как закон исключения третьего и некоторые другие), но ничего не добавляя.

- ¹¹ *Birkhoff G. von Neumann J. The logic of quantum mechanics // Annals of Mathematics*. 1936. Vol. 37. 823–843. Современный обзор концепций квантовой логики см.: *Dalla Chiara M.L., Giuntini R. Quantum Logic* (arXiv:quant-ph/0101028v2).

- 12 *Putnam H.* Is Logic Empirical? // *Boston Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 5 / Eds.: S.R.Cohen and M.W.Wartofsky. Dordrecht, 1968. P. 216–241. См. также: *Bacciagaluppi G.* Is Logic Empirical? // D.Gabbay, D.Lehmann and K.Engesser (eds), *Handbook of Quantum Logic*. Amsterdam, 2009. P. 49–78 (also under <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00003380/>).
- 13 *Вигнер Е.* Непостижимая эффективность математики в естественных науках // УФН. 1968. Т. 94. Вып. 3. С. 535–546.
- 14 Но удивление все же вызывает. Хороший пример приведен в цитированной выше статье Евгения Вигнера. Для изучения законов демографии часто удобно пользоваться гауссовым распределением вероятностей, значения которого выражаются через число π . Но какое отношение народонаселение может иметь к длине окружности?
- 15 Конечно, понятия логики и множества не были получены явным применением каких-либо экспериментальных процедур. Эти понятия возникли как производные от человеческой интуиции, но сама она отнюдь не является априорной – была выработана в процессе биологической и затем социальной эволюции в целях адаптации к окружающей действительности и выживания в ней. В качестве таковой интуиция апостериорным образом отражает наиболее базовые отношения объектов, встречающихся в практике, которая является существенно макроскопической и классической. То есть в роли «экспериментальной процедуры» здесь выступает вся эволюция, которая просто методом отбора создает соответствие интуиции и реальности.
- 16 *Менский М.Б.* Человек и квантовый мир. Фрязино, 2007.
- 17 *Mensky M.B.* Postcorrection and mathematical model of life in Extended Everett's Concept (arXiv:0712.3609, 2007).
- 18 *Smolin L.* The unique universe, 2009 (<http://physicsworld.com/cws/article/in-depth/39603>).
- 19 *Пенроуз Р.* Тени разума. Москва–Ижевск, 2005. С. 627.
- 20 Заметим, что на самом деле никакой логической связи между «последовательным платонизмом» и верой в его вневременную природу нет, если только под платонизмом понимать идею об объективном существовании мира математических форм, но не иметь в виду в точности точку зрения самого Платона, который действительно предполагал вневременную природу идеального мира. Объективный мир математики вполне может мыслиться как динамическая структура, что подробно обсуждается далее.
- 21 То же самое можно сказать и о рассматриваемой Ли Смолиным зависимости фундаментальных законов от фундаментального времени.
- 22 Кроме квантовой гравитации, где, правда, рано говорить о каких-то законченных теориях. Наш анализ ограничен классическими представлениями о пространстве-времени.
- 23 Можно сказать, что мир математических форм – это та часть семантического слоя реальности, которая допускает отображение в материальный мир в форме науки – математики.
- 24 Напомним, что наблюдаемость и воспроизводимость в квантовой области ясный смысл имеют только для ансамблей.

- ²⁵ Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М., 1990; *Linde A. Inflationary Cosmology* (arXiv:0705.0164 [hep-th], 2007); Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. М., 2008; *Те же*. Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория. М., 2010; Лукаш В.Н., Михеева Е.В. Физическая космология. М., 2010.
- ²⁶ Панов А.Д. Методологические проблемы космологии и квантовой гравитации // Современная космология: философские горизонты / Под ред. В.В.Казютинского. М., 2011. С. 185–215; *Он же*. Вероятностная интерпретация антропного принципа и Мультиверс // Там же. С. 270–294.
- ²⁷ Гуревич М.И. Законы информатики – основа исследований и проектирования сложных систем связи и управления. Метод. пособие. М., 1989; *Seth L. Computational capacity of the universe* (arXiv:quant-ph/0110141, 2001).
- ²⁸ Краткий, но современный и регулярно обновляемый обзор этого направления можно найти в Википедии (http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_physics).
- ²⁹ Гуревич И.М. Информационные характеристики физических систем. М., 2009.
- ³⁰ Налимов В.В. Спонтанность сознания: Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. М., 1989; В поисках иных смыслов. М., 1993.
- ³¹ *Lee J.-W. Physics from information* (arXiv:1011.1657v1 [hep-th]); *D'Ariano G.M. Physics as quantum information processing* (arXiv:1012.2597v1 [quant-ph]б, 2010). Не могу сказать, чтобы эти статьи меня в чем-нибудь убедили.
- ³² Однако неверно было бы сказать, что функция Дирихле вообще не имеет никакого образа в физической действительности. Она представляется, например, текстом в учебнике по анализу.

Время в современной космологии

Космология, являясь «переходным» мостиком между естественно-научными представлениями и метафизикой, всегда занимала особое место в системе наук. Метафизикой в широком смысле, собственно философией и различными религиозно-мистическими представлениями. Изменения в космологических представлениях неизбежно затрагивают сферу гуманитарную, общую систему мировоззрения. Наиболее яркий пример – это, конечно, переход от гео- к гелиоцентрической системе мира, повлекшей за собой становление всего современного естествознания.

Есть все основания утверждать, что в настоящее время мы присутствуем при смене естественнонаучной парадигмы, масштабы которой могут быть оценены значительно позднее. Именно космология переживает сейчас один из интереснейших моментов – момент ломки сложившихся представлений, как рождение новых, подчас совершенно неожиданных и парадоксальных, так и переосмысление старых и традиционных тем.

В этой работе мы коснемся одной из старейших, но всегда актуальной проблемы времени. Времени в космологии, а если говорить еще более точно – проблемы времени в квантовой космологии. Квантовая космология – сравнительно молодая область современной науки. Основные предпосылки связаны с тем, что эффекты квантовой механики распространяются на формирование Вселенной на начальных ее этапах, особенно сразу после Большого взрыва. Стоит заметить, что, несмотря на большое количество

работ в этой области, многими теоретиками квантовая космология рассматривается как спекулятивное направление квантовой гравитации, к которой имеется достаточно много претензий.

Действительно, квантование гравитации сталкивается с целым рядом проблем, среди которых можно выделить две основных трудности: а) нелинейность уравнений общей теории относительности Эйнштейна и б) общая ковариантность этой теории¹.

Нелинейность уравнений ОТО приводит к нарушению основного принципа квантовой механики – принципа суперпозиции состояний, т. е. к тому, что сумма решений уже не является решением. Это препятствует применению обычных методов квантования, когда отдельные решения соответствующих квантовых уравнений представляются как кванты соответствующего поля. Уравнения Эйнштейна нелинейны, и поэтому стандартная методика квантования затруднена.

«Ковариантность теории гравитации приводит... к тому, что гравитационное взаимодействие описывается значительно большим числом переменных (десятью компонентами метрического тензора), нежели число ожидаемых динамических переменных (две степени свободы). Подобная ситуация имеет место и в теории электромагнитного поля: при четырех компонентах векторного потенциала A имеются всего две динамические степени свободы (два состояния поляризации). Однако в электродинамике уравнения просты, и не представляет труда исключить из рассмотрения “лишние” переменные. В общей теории относительности уравнения чрезвычайно сложны и не удастся произвести исключения “лишних” переменных в общем случае»².

Это одна сторона проблемы. Другая связана с вопросом применимости и формального аппарата ОТО и квантовой механики в начальный момент времени при сверхсильных полях гравитации. Известно, что уже сам Эйнштейн при обсуждении проблемы существования черных дыр говорил о неизбежной модификации уравнений ОТО.

Далее, квантовая механика традиционно считается применимой к области микроявлений, и возникает вопрос о применимости математического аппарата этой теории ко Вселенной в целом. Если же все-таки исходить из того, что квантовая механика является наиболее фундаментальной теорией и она применима для начальной фазы

образования Вселенной, то ее можно пытаться применить для описания Вселенной в целом. «Отцом» квантовой теории гравитации можно считать аббата Лемэтра. Уже в работе 1931 года, ссылаясь на идеи Артура Эддингтона, он ставит вопрос о квантовом описании Вселенной³. Эти же идеи он развивает и далее, связывая их с идеей «первоатома», например, в известной работе 1933 года «Расширение Вселенной»⁴. Концепция «первоатома» Лемэтра сталкивалась с проблемой космологической сингулярности, которую физики-теоретики не могли решить более 30 лет. Впоследствии было предложено несколько вариантов разрешения этой трудности.

Современная квантовая космология базируется на подходе, получившем название *квантовой геометродинамики* и развитием в середине 60-х гг. XX в. американскими физиками Джоном Арчибалдом Уилером и Брайсом ДеВиттом. Квантовая геометродинамика представляет собой квантование геометрии в целом. Основное уравнение квантовой геометродинамики

$$\hat{H}\psi = 0, \quad (1)$$

где $\hat{H}$ – оператор Гамильтона и ψ – волновая функция для трехмерной геометрии, позволило объединить общую теорию относительности и квантовую теорию. Уилер предложил называть (1) уравнением Эйнштейна-Шредингера. Затем его называли уравнением ДеВитта, а с 1988 г. за ним окончательно утвердилось название уравнение Уилера-ДеВитта.

В квантовой космологии уравнение Уилера-ДеВитта может быть приведено к типу стационарного уравнения Шредингера в эффективном плоском пространстве. Такой подход порождает новые вопросы и проблемы, не менее серьезные, чем классическая проблема космологической сингулярности, которую таким образом пытались решить. Возникает вопрос о смысле такой вселенской волновой функции. Так, полная волновая функция Вселенной подразумевает вероятностное описание ее свойств. Но наша Вселенная существует в единственном экземпляре, и неясно, как такое описание может в принципе возникнуть. Другая проблема связана с тем фактом, что волновая функция Вселенной не зависит от времени как такового, и возникает вопрос, каким образом такая волновая функция может описывать Вселенную, которая эволюционирует во времени.

В 1973 г. физики Э.П.Трайен (США) и П.И.Фомин (СССР) независимо друг от друга выдвинули предположение о том, что Вселенная возникла из вакуума в результате квантовой флуктуации. А в 1982 г. А.Виленкин (США) предложил интерпретировать спонтанное квантовое рождение Вселенной из деситтеровского вакуума как туннельный эффект, подобный альфа-распаду атомного ядра. Следующие идеи связаны с концепцией инфляционного происхождения Вселенной, которые и являются в настоящее время доминирующими. При этом возникает интересная проблема, сопутствующая *всем* попыткам описания Вселенной в целом при помощи квантовых представлений: время не течет в таком «квантовом» мире! Собственно именно попытке трактовки данного феномена и посвящена вся эта работа. Прежде чем перейти к собственным соображениям, приведу пространную выдержку из передачи А.Гордона, посвященной проблематике квантовой космологии, от 5 августа 2003 года, где выступали Андрей Гриб и Михаил Фильченков. И само видео этой передачи, и стенограмму, беседы легко найти в Интернете⁵.

Андрей Гриб почти в самом начале передачи ставит вопрос о начале времени во Вселенной: «...Возникает главный вопрос: ну, а что такое все-таки самое начало? Что значит начало Вселенной, начало времени? Что об этом можно сказать?» Первым этот вопрос, как мы знаем, задал блаженный Августин в пятом веке новой эры. Он в «Исповеди» обсуждает проблему того, что такое начало Вселенной... Нужно сказать, именно это повторил Хокинг, кстати, не ссылаясь почему-то на блаженного Августина...

Итак, начало Вселенной как начало времени. Что это такое? Что мы можем об этом сказать? ...Вселенная расширялась. Но она расширялась от очень маленького объема, который соответствует планковским размерам. Для того чтобы говорить о том, что происходило на этих размерах, и знать, что такое точка начала, необходимо привлекать квантовую физику. Причем квантовую физику не только для того, что находится внутри Вселенной, но и для описания ее геометрии.

Это квантовая гравитация. Все, чем занимались мы, допустим, начиная с 69-го года, относилось на самом деле к квантовым процессам внутри Вселенной. Пространство-время, которое классическое, описывается классически в теории относительности. Здесь

же этого недостаточно, если мы хотим попытаться ответить на вопрос: а что же такое само возникновение времени? А что мы вообще тут можем говорить, что значит возникновение времени, что за слово «возникновение», если мы говорим о чем-то, что есть возникновение времени, в котором всякое возникновение существует? Как ставить здесь вопрос? Об этом нужно рассуждать не только физикам и математикам, человек, задающий этот вопрос, должен быть еще и философом, чтобы понять, что же все-таки он спрашивает. И вот квантовая космология, которая возникла где-то в середине 80-х годов, пытается ответить на этот вопрос, а именно, пытается описать раннюю Вселенную в рамках квантовой физики».

М.Фильченков: «Это направление, в котором такой подход реализуется, получило название квантовой геометродинамики. Она была разработана в 60-х годах, в основном Уилером и ДеВиттом. Основное уравнение в этом подходе – это так называемое уравнение Уилера-ДеВитта. И оказалось, что это уравнение Уилера-ДеВитта очень похоже на уравнение Шредингера – то уравнение, которое известно из квантовой механики. Только с одним исключением, что в этом уравнении энергия равна нулю. Потому что в этой теории не используется время. ...Оказывается следующая вещь, что вы исходите из уравнений Эйнштейна, а получаете уравнение квантовой механики. То есть это совершенно удивительная вещь. В этом, собственно, в квантовой космологии и заключается синтез общей теории относительности и квантовой механики, то есть вы “перевариваете” общую теорию относительности, превращая ее в квантовую механику. Причем интересно следующее: можно пойти и дальше. Лемэтр, которого некоторые называют отцом квантовой космологии, предложил первоатом, а после этого у Уилера, ДеВитта и Хокинга были такие высказаны идеи, что решение этого уравнения, типа уравнения Шредингера, может дать что-то типа атома водорода. Потому что у уравнения Шредингера одно из точных решений – это атом водорода. Так вот оказалось, что из этого уравнения Уилера-ДеВитта, примененного к квантовой космологии, можно получить решение, которое совпадает с решением для атома водорода, то есть то, что предлагал ДеВитт, уже реализовано математически.

Что еще можно сказать? ...В такой постановке задачи, когда у вас энергия равна нулю, из уравнения Шредингера следует, что у нас нет времени, потому что, как я сказал, мы рассматриваем

только трехмерные конструкции и из них выводим какую-то динамику. А то, что у нас нет времени, это очень плохо, потому что это означает то, что, раз нет времени, значит, нет наблюдателя. А основная интерпретация квантовой механики, в общем-то, требует наличия наблюдателя. По крайней мере в такой трактовке, которая дана, можно сказать, в “библии квантовой механики” – книге фон Неймана “Математические основы квантовой механики”. Без этого построение теории невозможно, хотя не все разделяют эту точку зрения, но, по-видимому, все равно есть трудности. Когда вы рассматриваете квантовую космологию, например, рождение Вселенной, то оказывается, что после того, как происходит туннелирование, которое соответствует рождению Вселенной, волновая функция оказывается такой, что из нее можно вывести, какая будет зависимость масштаба расширения от времени, то есть возникает время. Оно запрограммировано в самой квантовой механике. То есть до того, как Вселенная родилась, не было времени. Но если вы знаете эту волновую функцию и берете ее на предельно больших, масштабных факторах, то из этой зависимости, точнее, из ее фазы вы можете найти однозначно, как будет вести себя этот масштабный фактор в зависимости от времени. То есть у вас возникает время. Возникает, правда, некая трудность с наблюдателем...»

Этот большой отрывок из стенограммы выступления физиков как нельзя лучше показывает существо тех задач, с которыми сталкивается квантовая космология. Мы здесь выделили только одну проблему, связанную с проблемой времени. И она, как мы попытаемся показать ниже, тесно касается понимания квантовой механики в целом и ее трактовки. Весьма показательна в этом смысле лекция Андрея Линде «Инфляция, квантовая космология и антропный принцип»⁶, где нерешенная задача начала времени во Вселенной сводится как раз к сути понимания квантовой механики. К сожалению, и в этой лекции все сводится к проблеме наблюдателя в квантовой механике и, более того, к возможному (!) участию не только этого самого наблюдателя, но и его сознания. Андрей Линде выступал с лекцией, посвященной 90-летию Джона Уиллера. И создается впечатление, что Уиллер был последний, кто мог на уровне своего Учителя – Нильса Бора – обсуждать фундаментальные вопросы квантовой механики. Эта лекция состоялась более 10 лет назад. Уже совсем недавно в Москве 7 декабря 2012 г., при

участии сколковского Центра квантовой физики, в клубе Digital October выступал Нобелевский лауреат Дэвид Гросс с лекцией «Век квантовой механики». Лекция должна была быть по смыслу связана с пониманием квантовой механики и ее нерешенными проблемами, но вся проблематика свелась к известному афоризму Дэвида Мермина⁷: «Shut up and calculate» – «Заткнись и считай!», приписываемому часто Ричарду Фейнману. На протяжении почти двухчасовой лекции Дэвид Гросс рассказывал о нерешенных задачах современной физики, но ни разу не коснулся ни одной фундаментальной проблемы!

А ведь весь клубок вопросов в квантовой космологии, которой только немного коснулся Гросс, действительно, неразрывно связана с проблемой понимания квантовой механики. И не только ее самой, но и тесно связанной с ней проблемы времени. Ранее мне уже приходилось писать на эту тему⁸, и, прежде чем коснуться своего понимания отсутствия течения времени в квантовой космологии, необходимо хотя бы кратко вернуться к этому материалу.

Развиваемые идеи тесно связаны с утверждением, что квантовой механикой *не описывается* наблюдаемый классический макроскопический мир. Область применимости квантовой ограничивается областью *иного* состояния бытия. И дело вовсе не в разделении микро- и макроявлений, как это сначала понималось на заре становления квантовой механики. Существуют вполне макроскопические явления, такие как сверхтекучесть и сверхпроводимость, которые описываются чисто квантовомеханически, так и наоборот, существуют микроявления, не подчиняющиеся уже основным квантовым принципам, что стало очень хорошо видно при тех проблемах, с которыми столкнулись сейчас физики при создании квантовых компьютеров.

Наиболее адекватным языком для описания квантовых явлений являются те понятия, которые были введены Гейзенбергом и Фоком. Как известно, волновая функция описывает «пакет возможностей»: не то, что наблюдается, а только то, что может или будет наблюдаться при протекании квантовых явлений. Это то, что Фок называл «потенциальные возможности», а Гейзенберг – «бытие в возможности». Именно к этому уровню применим принцип суперпозиции состояний, или, говоря на жаргоне физиков, именно здесь работает «квантовая шизофрения», когда «кот Шредингера»

может быть одновременно и живым, и мертвым. И именно здесь хорошо понятна реакция Стивена Хоукинга, повторяющего фразу о том, что, когда к нему приходят с «котом Шредингера», его тянет схватиться за кобуру пистолета. Принцип суперпозиции состояний не работает уже для уровня «бытия актуального» (по Гейзенбергу) или бытия «осуществившегося» (по Фоку). Здесь мы вступаем в область классической физики, где описываются обычные вещи и явления и где работает обычный здравый рассудок.

При переходе от явлений квантовых, бытия потенциального к бытию актуальному, тесно связанному с т. н. «редукцией волновой функции», и возникает «стрела времени», что и является одним из основных выводов такой трактовки квантовых явлений. С этой точки зрения одной из основных проблем квантовой механики является проблема **становления** в широком философском смысле. И она как таковая до сих пор не ставилась в центр внимания при анализе философских оснований квантовой механики. Однако рискну утверждать, что именно эта древнейшая философская проблема и является одной из главных и основных в квантовой механике. Становление, с точки зрения традиционной метафизики, имеет один крайне интересный эффект, связанный с понятием трансцендирования.

Двухмодусные онтологические представления, т. е. когда существуют и модус бытия в возможности, и модус бытия действительного – мир осуществившегося, ставят в центр внимания проблему становления. Статистическое распределение вероятностей, возникающее при измерении, и отражает объективно существующие при данных условиях потенциальные возможности. Актуализация, «осуществление», по Фоку, и есть не что иное, как «становление», «изменение» или «движение» в широком философском смысле. Актуализация потенциального вносит необратимость, что тесно связано с существованием «стрелы времени».

В таком понимании время приобретает особый, выделенный статус, и если квантовая механика действительно указывает на существование бытия потенциального и его актуализацию, то в ней этот особый характер времени должен быть явным. Как раз именно этот особый статус времени в квантовой механике хорошо известен и неоднократно отмечался разными авторами. Например, де Бройль в книге «Соотношения неопределенностей Гейзенберга и волновая

интерпретация квантовой механики» пишет, что квантовая механика «не устанавливает истинной симметрии между пространственными и временной переменной. Координаты x , y , z частицы считаются наблюдаемыми, соответствующими неким операторам и имеющими в любом состоянии (описываемом волновой функцией Ψ) некоторое вероятностное распределение значений, тогда как время t по-прежнему считается вполне детерминированной величиной.

Это можно уточнить следующим образом. Представим себе галилеева наблюдателя, проводящего измерения. Он пользуется координатами x , y , z , t , наблюдая события в своей макроскопической системе отсчета. Переменные x , y , z , t – это числовые параметры, и именно эти числа входят в волновое уравнение и волновую функцию. Но каждой частице атомной физики соответствуют “наблюдаемые величины”, которые являются координатами частицы. Связь между наблюдаемыми величинами x , y , z и пространственными координатами x , y , z галилеева наблюдателя носит статистический характер; каждой из наблюдаемых величин x , y , z в общем случае может соответствовать целый набор значений с некоторым распределением вероятностей. Что же касается времени, то в современной волновой механике нет наблюдаемой величины t , связанной с частицей. Есть лишь переменная t , одна из пространственно-временных переменных наблюдателя, определяемая по часам (существенно макроскопическим), которые имеются у этого наблюдателя»⁹.

То же самое утверждает и Эрвин Шредингер. «В квантовой механике время выделено по сравнению с координатами. В отличие от всех остальных физических величин ему соответствует не оператор, не статистика, а лишь значение, точно считываемое, как в доброй старой классической механике, по привычным надежным часам. Выделенный характер времени делает квантовую механику в ее современной интерпретации от начала и до конца нерелятивистской теорией. Эта особенность квантовой механики не устраняется при установлении чисто внешнего “равноправия” времени и координат, т. е. формальной инвариантности относительно преобразований Лоренца, с помощью надлежащих изменений математического аппарата.

Все утверждения квантовой теории имеют следующий вид: если теперь, в момент времени t , провести некое измерение, то с вероятностью p его результат окажется равным a . Все статисти-

ки квантовая механика описывает как функции одного точного временного параметра... В квантовой механике бессмысленно спрашивать, с какой вероятностью измерение будет произведено в интервал времени ($t, t + dt$), т. к. время измерения я всегда могу выбрать по своему произволу»¹⁰.

В упоминаемой выше книге де Бройль показывает, что в квантовой механике не удастся избежать особого статуса времени, и весьма характерно, что книгу он заканчивает следующей фразой: «Таким образом, мне представляется невозможным устранить особую роль, которую в квантовой теории играет времениподобная переменная»¹¹. На основе подобных рассуждений можно с уверенностью утверждать, что квантовая механика заставляет нас говорить о выделенности времени, о его особом статусе.

Существует и еще один аспект квантовой механики, никем до сих пор не рассматриваемый. На мой взгляд, правомерно говорить о двух «временах». Одно из них – это наше обычное время, конечное, однонаправленное, оно тесно связано с актуализацией и принадлежит миру осуществившегося. Другое – это существующее для модуса бытия в возможности. Его трудно охарактеризовать в наших обычных понятиях, так как на этом уровне нет понятий «позже» или «раньше». Принцип суперпозиций как раз показывает, что в потенции все возможности существуют одновременно. Для этого модуса бытия невозможно введение пространственных понятий «здесь», «там», так как они появляются только после «развертывания» мира, в процессе которого время играет ключевую роль. Квантовые объекты получают существование не только в смысле своей пространственной локализации, но и начинают «*быть*» во времени. Допустив существование бытия потенциального, необходимо сделать вывод и о качественно ином характере существования на этом уровне бытия, в том числе и временного.

Как следует из принципа суперпозиции, различные квантовые состояния существуют одновременно, т. е. квантовый объект изначально, до актуализации своего состояния, существует сразу во всех допустимых состояниях. При редукции волновой функции от «суперпонируемого» состояния остается лишь одно из них. Наше обычное время тесно связано с такого рода событиями, с процессом актуализации потенциального. Суть «стрелы времени» при таком понимании состоит в том, что объекты приходят к бы-

тию, «во-осуществляются», и именно с этим процессом и связана однонаправленность времени и его необратимость. Квантовая механика, уравнение Шредингера описывает грань между уровнем бытия возможного и бытия действительного, точнее, дает динамику, вероятность *осуществления* потенциального. Само же потенциальное нам не дано, квантовая механика лишь указывает на него. Наше знание пока принципиально неполно. Мы имеем аппарат, описывающий классический мир, то есть мир актуальный, явленный, — это аппарат классической физики, включающий теорию относительности. И у нас есть математический формализм квантовой механики, описывающий становление. Сам же формализм «угадан» (здесь стоит напомнить, как было открыто уравнение Шредингера), он ниоткуда не выводится, что дает повод поставить вопрос о более полной теории. По нашему мнению, квантовая механика лишь подводит нас к грани бытия явленного, дает возможность приоткрытия тайны бытия и времени, не раскрывая и не имея такой возможности раскрыть ее полностью. Мы можем лишь сделать вывод о более сложной структуре времени, о его особом статусе.

Если такие рассуждения верны, то с необходимостью должен быть сделан следующий вывод. «Стрела времени» возникает только при актуализации событий, при рассмотрении двухмодусной картины бытия, при переходе от потенциального к актуальному. Но если ограничиться рассмотрением только бытия возможного *в целом*, то время не должно для него течь! И именно эти выводы можно сделать, если мы считаем возможным применение, распространение законов квантовой механики для описания этого уровня в целом. Откуда конкретно следует такое утверждение?

Одним из фундаментальных выводов общей теории относительности является то, что полная энергия мира тождественно равна нулю. Именно отсюда следует вывод, что если мы пытаемся описывать мир в целом при помощи «волновой функции», то с неизбежностью должны приходиться к уравнению

$$\hat{H}\psi = 0. \quad (2)$$

Такой же вид носит и уравнение Уилера-ДеВитта, здесь же рассуждения проводились в общем случае. Более того, уравнение Уилера-ДеВитта записывается для трехмерного случая, но

если мы учитываем эффекты теории относительности, то уравнение (2) должно носить четырехмерный характер. В приведенной выше дискуссии Андрея Гриба с Михаилом Фильченковым говорилось о применении уравнения Уилера-ДеВитта к лемэтровскому «первоатому», что дает решение, которое совпадает с решением для атома водорода. Такие рассуждения можно провести исходя уже не из уравнения Уилера-ДеВитта, а для чисто четырехмерного случая. Уравнения, которые здесь получаются, аналогичны уравнению фоковского формализма для атома водорода, рассматриваемого в импульсном 4-мерном пространстве¹². Характерной особенностью такого подхода для мира в целом будет опять отсутствие течения времени¹³!

С нашей точки зрения, какой-либо парадокс здесь отсутствует. То, что описывается в квантовых космологических моделях, — это иной порядок вещей, инобытие, тот модус существования, что предшествует и конституирует бытие наблюдаемое, актуальное, которое и характеризуется как раз течением времени.

Такая точка зрения никак не является новой. Как известно, еще Платон дает различие двух времен — собственно времени и вечности. Время и вечность у него несоизмеримы [Платон. Тимей, 38a], первое есть только движущееся подобие второй. При сотворении Вселенной, как рассказывается об этом в «Тимее», демиург «замыслил сотворить некое движущееся подобие вечности; устроив небо, он вместе с ним творит для вечности, пребывающей в едином, вечный же образ, движущийся от числа к числу, который мы называли временем» [Платон. Тимей, 37c].

Платоновская концепция — это первая попытка преодоления, синтеза двух подходов ко времени и миру. Один из них — это парменидовская линия, дух школы элеатов, где отрицалось всякое движение, изменение, где истинно сущим признавалось лишь вечное бытие, другой — связанный с философией Гераклита, утверждавшего, что мир есть непрерывный процесс, своего рода горение или безостановочное течение.

Другой попыткой преодоления такой двойственности явилась философия Аристотеля. Введя понятие бытия потенциального, он сумел впервые описать движение, учение о котором он излагает в тесной связи с учением о природе. Имеется существенное отличие между подходами Платона и Аристотеля в понимании

времени. У Платона время и вечность несоизмеримы, они качественно различны. Первое у него только движущееся подобие второй (Тимей, 38а), ибо все возникшее не причастно вечности, имеет начало, а следовательно, и конец, т. е. оно *было и будет*, тогда как вечность только есть.

Аристотель отрицает вечное существование вещей и хотя он и вводит понятие вечности, это понятие является для него скорее бесконечной длительностью вечного существования мира. Его логический анализ, сколь бы гениальным он ни являлся, не способен схватить существование качественно *иного*. Платоновский подход, хотя и не описывает движение в чувственном мире, оказывается в отношении времени более дальновидным. В дальнейшем концепции времени разрабатывались в рамках неоплатоновской школы и христианской метафизики. Не имея возможности входить в анализ этих учений, отметим только то общее, что их объединяет. Все они говорят о существовании двух времен – обычного времени, относящемуся к нашему миру, и вечности, *эона* (αιων), связанного с бытием сверхчувственным¹⁴.

Время тесно связано с понятием «*события*». Все идеи, которые мы излагали выше, носили, вообще говоря, умозрительный и эвристический характер. Без должного обоснования они могли как оказаться верными, так и легко повиснуть в воздухе.

До недавних пор не существовало теории, в рамках которой выводились бы уравнения Дирака или Шредингера. Они были угаданы – и все! Как говорил Уилер, на данный момент мы не имеем принципов, из которых вытекает квантовая механика. Мы можем сформулировать лишь её конечный урок. В связи с этим мы хотели бы обратить внимание на бинарную геометрофизику, которая кладет в основу понятие *события* как в КМ, так и в теории относительности. На данный момент бинарная геометрофизика является единственной теорией, которая *в рамках своего формализма получает уравнения и Дирака, и Шредингера*, и Клейна-Фока. Фактически из одного фундаментального положения в этой теории одновременно вытекают как формализм квантовой механики, теории относительности, так и теория физических взаимодействий. В ее рамках удастся построить и единую теорию физических взаимодействий. Подход Владимирова дает ясное понимание, чем является квантовая механика и ее основной объект – волновая функция.

Это некоторый конструкт, который изначально отнесен к *до*пространственно-временной области бытия. Квантовые элементарные явления «ткнут ковер» пространства-времени, откуда сразу видна сигнатура пространства-времени – 3+1 (+ – – –).

В качестве основных понятий в подходе, развиваемом Ю.С.Владимировым, выступают состояния проточастиц (микрообъектов). Эти состояния, являясь фундаментальными, не определяются, и само это «понятие состояния должно восприниматься как самое первичное (примитив теории)»¹⁵. Постулируется наличие двух множеств элементов, вообще говоря, начального и конечного состояний, и между ними задается парное комплекснозначное соотношение, u_{ia} , собственно и описывающее элементарный переход. Это положение отталкивается от эмпирического обобщения, что мир состоит из некоторых, пока не конкретизируемых элементов (проточастиц) и они подвержены изменению. Комплекснозначность означает, с одной стороны, обобщение наших знаний квантовых явлений, с другой стороны, с точки зрения метафизики, попытку применить количественный подход к описанию мира материального, начинать которое нужно с уровня бытия возможного как источника наличного изменения и становления.

Подчеркивается, что первичные элементарные понятия (параметры элементов) в рамках вводимых Владимиром *бинарных систем комплексных отношений* (БСКО) «ни в коей мере не могут претендовать на статус наблюдаемых понятий в обычном их понимании. Из них строятся некие комбинации, представляющие собой лишь прообразы ряда классических величин. Невозможно поставить эксперимент с целью определения отношений какой-либо конкретной элементарной базы, то есть выделенного электрона. Наблюдаемыми становятся лишь производные от них понятия после перехода к макрофизике»¹⁶.

Эти первичные понятия, выступающие как *сущности* частиц, являются по сути дела **трансцендентными** к *наблюдаемому*. Этот характер **трансцендентности** носит в бинарной геометрофизике **явный** характер. Так, пространство-время не является здесь первичным, оно возникает, разворачивается в результате отношений между множествами элементарных объектов. Характер же существования их самих носит *надвременной* и *надпространственный* характер. С этой точки зрения становится хорошо понятным и

принцип дальнего действия, являющийся фундаментальным в бинарной геометрофизике. Дальнее действие обусловлено характером непосредственных отношений (взаимодействий) частиц, существующих *вне классического пространства-времени*. Именно это дальнее действие и обнаруживается в нелокальности стандартной квантовой механики, и проявляется в частности в ЭПР-парадоксе. Нелокальность квантовой механики (или прямое межчастичное взаимодействие у Ю.С.Владимирова) выражает как раз факт первичного существования частиц вне обычного пространства-времени, их изначальную отнесенность к иному, трансцендентному модусу бытия.

Наличие трансцендентности не является единственным «метафизическим признаком» этой теории. Между микрообъектами, которые и оказываются по сути трансцендентными в этой теории, как мы уже указывали, задается парное отношение – некоторое комплексное (вещественное) число u_{ia} . Постулируется, что имеется некий алгебраический закон, связывающий все эти возможные отношения

$$\Phi_{(r,s)}(u_{ia}, u_{ib}, \dots, u_{kr}) = 0$$

Существенным положением теории является требование *фундаментальной симметрии*, состоящее в том, что этот закон справедлив при замене взятого набора элементов на любые другие в соответствующих множествах. Фундаментальная симметрия позволяет записать функционально-дифференциальные уравнения, из них найти вид как парных отношений u_{ia} , так и саму функцию Φ . Этот закон играет ключевую роль в построении бинарной геометрофизики, и именно его можно отождествить с тем формальным принципом или попросту формой, которая и придает материи качественную и количественную определенность. Элементы множества, описываемые этим законом, определены до пространства-времени, т. е. трансцендентны по отношению к обычной реальности. Принцип *фундаментальной симметрии* говорит о том, что множество элементов остается себе тождественным при всех перестановках его элементов. Сущность этого закона вполне прозрачна. Со стороны эмпирики этот принцип является обобщением принципа относительности и ковариантности законов физики в различных системах отсчета. В законе фундаментальной симме-

трии явно наличествует движение: как и элементарный переход, так и возможность перестановки элементов внутри множества Φ . С нашей точки, зрения Ю.С.Владимирову в этом законе фундаментальной симметрии удалось схватить и количественно описать основной закон «бытия в возможности». С одной стороны, в рамках этой теории постулируется закон фундаментальной симметрии как «начало изменения» *физического*, а с другой стороны, показано, как отсюда иерархически вытекают пространственно-временные отношения и современные фундаментальные физические теории, т. е. теория относительности и квантовая механика, где они не находятся в конфликте, а гармонично описывают разные уровни реальности, а точнее – разные модусы бытия. К тому же здесь разворачивается практически единая теория физических взаимодействий.

Для целей нашей работы интересным в рамках бинарной геометрофизики оказывается то, что существует такой модус бытия, где отсутствует течение времени. Важно то, что он связан опять с *целостным* описанием сущего. Именно с таким описанием мы и сталкиваемся в квантовой космологии, где, описывая мир в целом *квантовомеханически*, мы не описываем мир наблюдаемый, реальный. Фактически мы оперируем понятием вселенской возможности, которая и реализуется тем или иным образом. Реализация, *акт* аналогичен редукции волновой функции в квантовой механике, когда мгновенно из пакета возможностей актуализируется только одна из них. Ставить вопрос о наблюдателе, участнике так и таким образом, как это делается до сих пор в рамках математического формализма *квантовой теории*, бессмысленно. Это не значит, что отсутствует причина становления этого мира, появление мира неслучайно, причина существует, но она явно, в прямом смысле слова, относится уже не к физике, а к *метафизике*. Описывая мир из некоего состояния, будь то вселенская волновая функция, как в квантовой теории гравитации, или исходя из уравнения фундаментальной симметрии, как это делается в бинарной геометрофизике, мы приходим в конце концов к описанию нашего реального, наблюдаемого мира. Само бытие потенциальное при этом никуда не исчезает, оно как существовало так и продолжает существовать, наряду с бытием актуальным. Бытие мира с этой точки зрения есть не что иное, как непрерывное, перманентное воосущест-

вление потенциального, что, собственно говоря, и описывает аппарат квантовой механики. Появление мира – это реализация одного из возможных состояний. Вот здесь мы можем уже вводить человека, и это не противоречит тому, что мы говорили о наблюдателе и участнике. Введение его в рамках квантовой механики – дело бессмысленное, но оно становится осмысленным в рамках космологии, когда мы привлекаем антропный принцип. Как и современный антропный принцип, так и почтенная старая метафизика в данном случае единогласно утверждают, что человек является субъектом космическим, и именно на этом пути необходимо искать включение человека в картину Вселенной, а не на уровне квантовой механики.

Развитие такого рода идей с привлечением *всего спектра* современных научных данных представляется достаточно интересным, но выходит далеко за рамки данной работы.

Примечания

- ¹ См., например: *Владимиров Ю.С.* Метафизика. М., 2002. С. 329.
- ² Там же.
- ³ *Lemaître G.* The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory // *Nature*. 127, 706 (9 May 1931).
- ⁴ *Lemaître G.* L'Univers en expansion // *Annales de la Société des sciences de Bruxelles*. 1933. Vol. 53A. P. 51–83.
- ⁵ gordon0030.narod.ru/archive/14635/index.html; или http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/grib_kvantovaya.htm.
- ⁶ *Линде А.* Инфляция, квантовая космология и антропный принцип // Лекция, прочит. на конф., посвящ. 90-летию Джона Уилера «Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos» (опубл. в архиве препринтов: hep-th/0211048).
- ⁷ *Mermin N.D.* Could Feynman Have Said This? // *Physics Today*. 2004. Bd. 5. С. 10.
- ⁸ *Севальников А.Ю.* Интерпретации квантовой механики: в поисках новой онтологии. М., 2009.
- ⁹ *Бройль Л. де.* Соотношения неопределенностей Гейзенберга и вероятностная интерпретация квантовой механики. М., 1986, С. 141–142.
- ¹⁰ *Шредингер Э.* Специальная теория относительности и квантовая механика // Эйнштейновский сборник. 1982–1983. М., С. 265.
- ¹¹ *Бройль Л. де.* Указ. соч. С. 324.
- ¹² *Фок В.А.* Атом водорода и неевклидова геометрия // *Изв. АН СССР*. 1935. Т. 2. С. 169–184.
- ¹³ Частное сообщение Ю.С.Владимирова.

- ¹⁴ К характеристике неоплатонической концепции см. к примеру: *Лосев А.Ф.* Бытие. Имя. Космос. М., 1993. С. 414–436; о понимании времени в христианском богословии: *Лосский В.Н.* Очерк мистического богословия Восточной Церкви. М., 1991. Гл. V.
- ¹⁵ *Владимиров Ю.С.* Фундаментальная физика и религия. М., 1993. С. 118.
- ¹⁶ *Владимиров Ю.С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 2: Теория физических взаимодействий. М., 1998. С. 134–135.

В.Д. Эрекаев

Проблема времени в квантовой гравитации и квантовой космологии

Говорить о времени трудно. В этом можно согласиться с Августином Блаженным, который, когда его не спрашивают о том, что такое время, он понимает, что это такое; когда же его спрашивают, что такое время, он перестает что-либо понимать. Честно и глубоко.

В то же время об этом понятии написано немало, описано много его свойств, предложено множество концепций его природы. Так, например, существуют следующие четыре концепции природы времени: субстанциальная, реляционная, динамическая и статическая¹. Среди свойств нам хорошо известны необратимость² времени, одномерность и однонаправленность. Чтобы объяснить направленность времени, было предложено несколько «стрел времени»: космологическая, термодинамическая, электромагнитная. Широко распространена точка зрения о существовании физического, психологического и социального времени. Но, несмотря на все это, природа времени постоянно ускользает от исследователей...

Вместе с тем современная фундаментальная физика предоставляет много новых данных о том, что нам снова необходимо пересмотреть природу времени и пространства. Этот пересмотр должен быть концептуально не менее глубоким, чем тот, который был осуществлен Эйнштейном в обеих теориях относительности.

В статье будут опущены многие важные вопросы, касающиеся проблемы времени в космологии. В частности, проблема начала Вселенной, ее бесконечности или конечности во времени, возможной многомерности времени, проблема собственного времени

Вселенной и др. Нас будут интересовать в основном особенности времени в случае квантовой Вселенной, прежде всего на планковском пределе.

В данной работе на основе материала современной физики будет показано, что мы стоим, по существу, перед двумя нарождающимися программами в фундаментальной физике: создания неметрической физики и построения физики без времени.

1. Некоторые новые свойства времени в современной космологии

Специфические характеристики времени при коллапсе. Ряд интересных свойств времени был открыт при изучении черных дыр. Одно из них состоит в том, что «Внутри черной дыры пространство и время меняются ролями: ее центр – не точка пространства, а момент времени. Падающая в черную дыру материя, приближаясь к центру, становится все более плотной. Но, достигнув максимальных значений, допускаемых теорией струн, плотность, температура и кривизна пространства-времени внезапно начинают уменьшаться. Момент такого реверсирования и есть то, что мы называем Большим взрывом. Внутренность одной из описанных черных дыр и стала нашей Вселенной»³.

С одной стороны, подобная замена не представляет собой чего-то необычного. Согласно теории относительности, время становится четвертой координатой и ничем особенным в этом плане не должно выделяться. С другой стороны, временная координата специфична, поскольку представляет собой произведение времени на скорость света и берется с отрицательным знаком. Поэтому с физически содержательной точки зрения такая замена нетривиальна.

Мнимое время. Попытки применить квантовый принцип к структуре самого пространства и времени привели С.Хокинга и Дж.Хартла к необходимости разработки способа суммирования историй «ткани пространства и времени», т. е. различных искривленных пространств-времен – различных историй Вселенной⁴. В процессе работы выяснилось, что «суммировать проще, если оперировать с предысториями в так называемом мнимом, а не в обычном, реальном времени»⁵. Какова же основная причина вве-

дения понятия мнимого времени? «Причина в том, что материя и энергия стремятся заставить пространство-время искривляться внутрь себя»⁶. Если рассматривать космологическое движение в реальном времени, то с необходимостью приходим к сингулярности, на которой заканчивается физика. Но если эволюционировать в мнимом времени, то сингулярности не возникают, и физические законы продолжают действовать. При этом «начало в мнимом времени не будет сингулярностью, а будет отдаленно напоминать Северный полюс на Земле»⁷. Таким образом, введение мнимого времени позволяет исключить из эволюции Вселенной ее начало и конец.

Мнимое время можно рассматривать как перпендикулярное обычному. Перпендикулярность времени означает его независимость от обычного. Мнимость может означать то, что время в такой трактовке не связано с физической феноменологией непосредственным образом. С другой стороны вопрос о том, насколько «обычное» время связано с феноменологией, также является нетривиальным. Но если это так, то каков физический смысл мнимого времени?

С.Хокинг согласен, что это понятие очень трудно для восприятия, однако, считает он, «идея мнимого времени – это тоже нечто такое, что нам придется принять. Это интеллектуальный скачок того же порядка, как и вера в то, что Земля круглая. Думаю, что мнимое время станет таким же естественным, какой является круглая Земля»⁸. Почти по Д.Юму: все наши самые глубокие идеи и представления являются привычками.

В отношении такого понимания времени, конечно же, возникает много вопросов, и, на наш взгляд, в этой проблеме еще рано ставить точку. Почему, например, нужно вводить именно мнимое, а не рассматривать многомерное время, что обсуждается в ряде работ⁹. Важнейшими вопросами являются также связь между мнимым и обычным временем, и переход от одного к другому. Дальнейшие исследования прольют свет на подобные проблемы, однако несомненно, что это представляет собой яркий пример необходимости углублять наши представления о времени.

Мысленный эксперимент с падающей в черную дыру ракетой. Предположим, что космический корабль движется в направлении на черную дыру, а на Земле внимательно следят за его полетом.

Как и всегда в релятивистских эффектах, существенно, что за происходящим следят два наблюдателя: внешний (на Земле) и сопутствующий (находящийся внутри ракеты). Как показывает общая теория относительности, при приближении к горизонту событий этой черной дыры с точки зрения внутреннего наблюдателя ничего принципиально не меняется: стрелки на его часах все также отсчитывают время, все предметы внутри корабля не меняют своей формы. При этом скорость его ракеты может быть близкой к скорости света. С точки же зрения наблюдателей на Земле происходит следующее: при приближении к горизонту событий черной дыры космический корабль начинает двигаться все медленнее и медленнее. На самом же горизонте событий он останавливается навсегда. С точки зрения же сопутствующего наблюдателя он проходит горизонт событий и продолжает падать на сингулярность. Эту ситуацию можно, например, интерпретировать следующим образом: в одной и той же области Вселенной (причем достаточно локальной – окрестности черной дыры) возникают две реальности: одна из них связана с падающим на черную дыру космонавтом, который за конечное время достигает сингулярности¹⁰, другая – та, которую *реально, с помощью приборов* наблюдают в центре управления полетом, когда корабль навечно замирает на горизонте событий. Подчеркнем, что обе эти реальности имеют эмпирическую верифицируемость¹¹ с помощью приборов. Мы предложили называть их кинематическими онтологиями¹². Отметим, что эти онтологии самым непосредственным образом связаны со свойствами времени.

2. Уравнение Уилера-ДеВитта

Радикальный подход к проблеме времени предлагается в одном из направлений теории квантовой гравитации – квантовой геометродинамике. В рамках этого формализма происходит разбиение единого 4-мерного пространства-времени на 3-мерное пространство и время, при этом объектом динамики является именно 3-пространство, а не пространство-время. Часть уравнений Гамильтона для гравитационного поля представляет собой связи 1-го рода, и после квантования они, действуя на физические состояния, дают нулевой результат.

Тождественное равенство нулю полного гамильтониана Вселенной в этой теории приводит к известному уравнению Уилера-ДеВитта. Оно представляет собой обобщение уравнения Шредингера для волновой функции всей Вселенной и выглядит следующим образом: $H\Psi=0$. Его решения, т. е. волновые функции Вселенной, явным образом не зависят от времени именно потому, что полный гамильтониан Вселенной, включающий гамильтониан гравитационного поля, тождественно равен нулю¹³. Это означает, что Вселенная как целое стационарна, т. е. не изменяется во времени.

Некоторые физики усматривают в последнем парадоксальность. Так, согласно А. Линде, одно из решений этого парадокса предложил Б. де Витт. «Понятие эволюции неприменимо к Вселенной в целом, так как нет ни одного внешнего по отношению к ней наблюдателя, так же как нет часов, не принадлежащих ей. Более того, нас на самом деле интересует не то, почему Вселенная в целом эволюционирует, мы просто пытаемся объяснить наши экспериментальные данные. Поэтому правильным вопросом будет: почему мы видим вселенную эволюционирующей именно так? Для того чтобы на него ответить, надо сначала поделить вселенную на две главные части – наблюдателя с его часами и измерительными приборами и остальную вселенную. Тогда можно показать, что волновая функция всей остальной вселенной зависит от состояния часов наблюдателя, то есть от его “времени”. Эта зависимость от времени в некотором смысле объективна: результаты, полученные различными (макроскопическими) наблюдателями, живущими в одном и том же квантовом состоянии вселенной и пользующимися достаточно хорошими (макроскопическими) приборами, будут совпадать.

Как видно, без введения наблюдателя вселенная оказывается мертвой и не эволюционирующей со временем. Это показывает необычно важную роль, которую играет понятие наблюдателя в квантовой космологии. Джон Уилер подчеркнул сложность ситуации, заменив слово наблюдатель на участник и введя понятие вселенной, наблюдающей саму себя»¹⁴. Но замена наблюдателя на участника здесь, на наш взгляд, недостаточна. В квантовой механике наблюдатель не просто участник, он приготавливает квантово-механическую систему, т. е. в данном случае Вселенную, и в этом смысле его можно рассматривать в качестве малого квантового демиурга. Однако осуществление подобной процедуры даже

в чисто в концептуальном плане представляется крайне проблематичным. В то же время для многих практических задач можно рассматривать наблюдателя просто как некоторый механизм¹⁵, что, возможно, отчасти снимет концептуальную остроту.

Тем не менее ввести время здесь оказывается все-таки возможно, но на некотором другом уровне рассмотрения. Однозначная вероятностная интерпретация решений уравнения Уилера-ДеВитта и введение времени, «как правило, возможны только в той области, где применимо квазиклассическое приближение квантовой геометродинамики, в котором вектор состояния представляется в виде $\exp(iS/\hbar)$, где S – действие системы. Тогда уравнение (1) переходит в уравнение Эйнштейна – Гамильтона – Якоби»¹⁶. Это может означать, что время – понятие классическое (или по крайней мере квазиклассическое), но на уровне квантовой гравитации и квантовой космологии его просто не существует.

Решения уравнения Уилера-ДеВитта можно рассматривать как мгновенные фотоснимки различных 3-геометрий пространства. Вместе с тем считается, что уравнение Уилера-ДеВитта описывает квантовую эволюцию 3-геометрии пространства, которая осуществляется в особом суперпространстве, представляющем собой многообразие, элементами которого являются 3-геометрии с различными метриками g_{ab} .

В отношении уравнения Уилера-ДеВитта возникает много и других вопросов. Поскольку нас интересуют именно концептуальные аспекты, то в этом плане среди них можно выделить, например, следующие.

1. Разбиение 4-мерного пространства-времени на привычную структуру 3+1 (3-мерное пространство и 1-мерное время), по-видимому, представляет собой концептуальный шаг назад, а введение суперпространства может означать концептуальный возврат к идее фонового пространства.

2. Поскольку вероятностная трактовка и введение времени возможны только при наличии квазиклассического приближения, то это означает, что в интересном для нас квантовом случае отсутствует время. Является ли такая интерпретация удовлетворительной? По крайней мере существующая концептуальная трактовка уравнения Уилера-ДеВитта как описывающего эволюцию 3-геометрий становится сомнительной и не может в отсутствии времени

рассматриваться как обобщение уравнения Шредингера, которое как раз и описывает эволюцию волновой функции во времени. В этом плане уравнение Уилера-ДеВитта уже, по-видимому, не может рассматриваться в качестве обобщения уравнения Шредингера на уровне квантовой гравитации, да и вообще с ним концептуально не связано. Возможно, в этом режиме требуется поиск новой интерпретации уравнения Уилера-ДеВитта. Например, если все же сохранить время как фундаментальную категорию, то, возможно, оно присутствует и в уравнении Уилера-ДеВитта, но в латентной, скрытой форме. А это означает, что требуется новое физическое осмысление этого уровня реальности.

3. Если уравнение Уилера-ДеВитта является уравнением эволюции, из которого исключено время, то может ли осуществляться эволюция без времени? Ведь уравнением эволюции квантово-механических состояний является уравнение Шредингера, и если из него исключили время, то из него исключили и эволюцию, поскольку эволюция немыслима без времени в привычном понимании.

4. В то же время в подходе Уилера-ДеВитта в конечном счете все концептуально сводится к движению частиц (вселенных) в пространстве (суперпространстве). Другими словами, здесь не появляется ничего концептуально нового.

Следует также отметить, что не все исследователи разделяют попытку исключить время из Вселенной и делают отсюда далеко идущие выводы¹⁷.

3. Время в квантовой гравитации и планковской космологии

Рассмотрим вопрос о времени в рамках квантовой теории гравитации и квантовой космологии. На самом деле проблема времени возникает уже на доквантовом уровне в рамках ОТО. С точки зрения Р.Пенроуза, проблема «...состоит в том, как выразить эволюцию во времени, описываемую уравнением Эйнштейна, в рамках общековариантного 4-мерного формализма. Это связано с так называемой “проблемой времени” в квантовой гравитации (иногда ее именуют проблемой “замороженного времени”). В общей теории относительности нельзя отличить временную эволюцию от

простого изменения координат (т. е. просто замены одной временной координаты на другую). Общековариантный формализм должен быть нечувствительным к простой замене координат, так что понятие временной эволюции оказывается глубоко проблематичным. Мой собственный взгляд на эту проблему ... состоит в том, что ее вряд ли удастся решить без удовлетворительного подхода к вопросу о редукции вектора состояния $\mathbf{R}$ и что это в свою очередь потребует коренной ревизии общих принципов»¹⁸.

В то же время современные теоретические результаты дают возможность обсуждать особенности времени на уровне квантовой космологии. Нетривиальные особенности в представлениях о времени возникают в квантовой гравитации и планковской космологии. Так, ДеВитт считает: «В квантовой теории гравитации сама геометрия пространства-времени должна непрерывно флуктуировать, так что может стереться даже различие между прошлым и будущим»¹⁹. Рассмотрим специфику временных представлений в теории петлевой квантовой гравитации.

С точки зрения М.Боджовальда, «... новая структура пространства-времени, возникающая в петлевой квантовой гравитации и ее приложениях к космологии, проливает новый свет на более общие проблемы, такие как (проблема) времени»²⁰.

«В теорию спиновых сетей не заложено *время* (и действительно, спиновые сети в их первоначальном варианте можно рассматривать, предполагая любое направление течения времени – вперед, назад, вбок и т. д.). Таким образом, странное “время, текущее вспять” в условиях квантового перепутывания есть всего лишь отражение этого безразличия к направлению течения времени, присутствующего спиновым сетям»²¹.

Согласно одной из интерпретаций, в петлевой теории квантовой гравитации основными объектами являются квантовые ячейки пространства планковского масштаба. Они определенным способом соединены друг с другом. «Законом их соединения и их состоянием управляет некоторое поле, которое в них существует. Величина этого поля является для этих ячеек неким “внутренним временем”»: переход от слабого поля к более сильному полю выглядит совершенно так, как если бы было некое “прошлое”, которое бы влияло на некое “будущее”». Таким образом, на планковском уровне реальности время подтверждает свой статус «упрямой иллюзии»

(А.Эйнштейн). Вдали от сингулярности, во Вселенной с малой концентрацией энергии «ячейки как бы “сплавляются” друг с другом, образуя привычное нам “сплошное” пространство-время»²².

Последнее более-менее понятно. Зато совершенно неясно, на основе каких соображений величина поля внутри планковской ячейки является неким «внутренним временем»? Можно, конечно, связать возрастание силы поля с временем, но не более того: утверждение же о том, что время увеличивается с возрастанием величины поля – просто подмена понятий. И действительно, прошлое состояние поля (слабое поле) сменилось на новое (будущее) состояние (сильное поле): все это происходило во времени, когда оно «текло» от прошлого к будущему, а в определенные моменты времени поле меняло свои значения. Кроме того, совершенно неясно, в каком смысле можно говорить о поле внутри планковского кванта. Другими словами, изменение скалярного поля предполагают наличие времени.

Но можно ли утверждать, что, пока поле не меняло своего значения, время не текло, его просто не было? Если это так, то стол, неподвижно стоящий в углу комнаты, также должен находиться вне времени. Но это не так: стол, находясь на одном месте, в своей инерциальной системе отсчета всегда движется во времени. Это следует как из специальной теории относительности, так и из привычных представлений. Поэтому логично предположить, что скалярное поле «внутри» планковского объема также движется во времени, не меняя своих значений. В спецрелятивистском плане это так, однако в данном же случае такое изменение во времени должно происходить на планковском уровне в присутствии квантованной гравитации. А это существенно усложняет рассмотрение.

Но, может быть, это поле, меняясь, действительно определяет течение времени? Так же, как его «определяет» стрелка часов. Ведь о времени мы, собственно, ничего и не можем сказать, кроме того, что стрелка часов переместилась²³ на определенный угол.

Но в нашем случае существует серьезная особенность: планковское время можно рассматривать как предельное время в природе. Если это так, то оно неделимо в метрическом смысле. Это означает, что «внутри» неделимого кванта времени не может происходить никаких физических процессов как изменений в любом физически значимом смысле. Говорить об изменении поля внутри

планковского кванта – нонсенс. Собственно это понятно уже из того, что поле – в метрическом смысле протяженная физическая реальность. Поэтому планковский квант (например, планковский объем) как предел не может содержать внутри себя протяженность. Здесь следует переходить, например, к рассмотрению неметрических отношений сосуществования в физике и построению неметрической физики как программы.

Принципиальным является вопрос о предельности планковского времени. По аналогии с рассмотрением проблематики, связанной с возможностью существования размеров меньше планковских, рассмотрим вопрос о том, могут ли существовать интервалы времени меньше планковского времени 10^{-43} сек.

Так, Б.Грин пишет: «В итоге, на масштабах более мелких, чем планковская длина и планковское время, квантовая неопределенность делает ткань космоса настолько перекрученной и искаженной, что обычные концепции пространства и времени более не применимы»²⁴. Подобную трактовку можно было бы понять так: пространство и время квантованы не в смысле своего предельного значения, а становятся просто мелкой пространственной и временной структурами. Но не предельно возможными. Отсюда следует, что должны существовать и более малые пространственные размеры, а также временные периоды реальности.

По-видимому, подобный подход непродуктивен по нескольким причинам. Во-первых, «обычные концепции пространства и времени более не применимы» уже на уровне атомов и элементарных частиц, далеко от планковского. В частности, согласно соотношению неопределенности координата и импульс не коммутируют; в макромире же подобного свойства между координатами и импульсом не существует. Во-вторых, становится концептуально неясной природа планковского масштаба – он перестает быть предельным уровнем физической реальности. «...Что представляют собой “молекулы” и “атомы” пространства и времени, – этот вопрос в настоящее время очень энергично изучается. На него еще предстоит дать ответ»²⁵.

Но, может быть, верна совершенно другая, радикально метафизическая оценка этой ситуации: «“пространство” между линиями сетки находится вне границ физической реальности»²⁶? А вот как он описывает сосуществование планковских моментов време-

ни: «Время может иметь зернистую структуру с отдельными моментами, тесно упакованными друг к другу, но не сливающимися в сплошной континуум»²⁷.

Что же может представлять собой плотная упаковка квантов времени? Условно изобразим каждый квант времени в виде кружка (рис. 1). Тогда плотная упаковка схематично будет выглядеть следующим образом:



Рис. 1

Что может означать «касание» квантов времени? Причем, как следует из вышеприведенной интерпретации, они не должны сливаться в непрерывный континуум времени. Однако поскольку на планковском уровне исчезают метрические отношения, то сам вопрос становится некорректным. Но тогда, быть может, планковские кванты времени отстоят друг от друга на бесконечно малую величину? Нет, т.к. отсутствуют метрические отношения, в том числе и на бесконечно малых временных промежутках.

Конечно же, можно возразить, что нельзя представлять себе квант времени или пространства в виде кружочков. Например, потому что любые квантовые объекты, в том числе и планковские кванты, должны обладать корпускулярно-волновыми свойствами. Но подобный аргумент ведет к не менее значительным трудностям, связанным с попыткой представления (пусть даже чисто теоретически) планковского кванта в виде волны. По-видимому, здесь нужны новые неметрические представления о физических объектах и процессах в дискретном пространстве-времени.

Не менее сложный вопрос связан с тем, какова природа флуктуаций на планковском масштабе, если, конечно, они там существуют. Может ли существовать флуктуация планковского элемента реальности? Могут ли существовать флуктуации внутри планковского кванта? Каков их физический смысл? Что такое флуктуация в предельно возможной плотности 10^{94} г/см³? Вероятно, существует выбор из следующих двух возможностей: либо представления о флуктуациях как отклонениях от среднего значения являются универсальными и выражают всеобщий принцип

природы, либо необходимо вырабатывать какие-то новые представления об аналоге флуктуаций для форм бытия в его экстремальных состояниях.

Что может представлять собой флуктуация в физически предельно малых периодах времени? Ведь *квант времени не флуктуирует!* А любая флуктуация – это изменение каких-то характеристик во времени. Явная несостыковка. На самом деле ситуация даже еще хуже: ведь на уровне квантовой гравитации, а следовательно, и на планковском уровне даже в соответствии с уравнением Уилера-ДеВитта времени просто не существует. Можно ли себе представить физические процессы без времени, или мыслить любое изменение в природе вне времени?

Можно также отметить ряд попыток построения сложных темпоральных конструкций типа «времени до времени»²⁸, интерпретации квантовой механики с двойным временем²⁹, трехмерной теории времени³⁰ и др. Большинство из них имеют выход на квантовую космологию.

Проблема времени и две фундаментальные физические программы. Подобные и другие подходы к проблеме времени в квантовой космологии позволяют сделать предположение о постепенном формировании двух фундаментальных физических программ: программы построения неметрической физики и физики без времени. Причем вторая программа более радикальна.

Если эти тенденции имеют перспективу, то, возможно, они будут реализовываться в два этапа: на первом будет более быстрыми темпами формироваться неметрическая физика, а уже затем на втором будет необратимый переход к физике без времени.

Поясним, что можно было бы понимать под содержанием этих программ, а также приведем некоторые аргументы в пользу необходимости их построения.

4. Программа построения неметрической физики

Если оставить время в качестве всеобщей (философской) категории, то оно должно сохранить фундаментальную роль в науке о природе. Но поскольку время теряет свои метрические свойства, то следует развивать представления о его неметрических свой-

ствах, а в отношении физического познания – создавать неметрическую планковскую физику, в которой время приобретает некоторые принципиально новые формы. Особенно остро эта проблема встает в планковской космологии. В частности потому, что в ней в пределе остается только один квант времени – момент рождения Вселенной. В рамках концепции времени как длительности между процессами и событиями мы должны отыскать в неметрическом подходе такие процессы, которые могут происходить вне метрических отношений пространства и времени. Это могут быть пространства большей сложности³¹.

Определяющим свойством метрических пространств, которые представляют собой важный класс топологических пространств, является возможность задания для любых двух точек x, y расстояния $\rho(x, y)$ между этими точками. Это расстояние должно обладать следующими свойствами:

- 1) $\rho(x, y) = \rho(y, x)$;
- 2) $\rho(x, y) = 0, \rho(x, y) > 0$ при $x \neq y$;
- 3) $\rho(x, y) \leq \rho(x, z) + \rho(z, y)$ (неравенство треугольника)³².

Важность метрического пространства для физики состоит в том, что в нем возможно проводить измерения.

Тем не менее возможно, что время действительно исчезает, но это не означает в данной программе, что оно как характеристика движения исчезает совсем, ведь тогда исчезает физика как наука, описывающая природные процессы. Чрезвычайно трудно представить себе физические процессы вне времени. Но время может исчезнуть в том смысле, как мы его понимаем. Просто оно теряет свои метрические характеристики. Так, невозможно измерить период времени между двумя планковскими моментами времени в квантовой гравитации: между планковскими «тиками»³³ нет никакой длительности. Возможно, время приобретает дополнительные топологические свойства к уже существующим свойствам однонаправленности, одномерности и т. д. Но в неметрической физике будет нечего измерять.

Квантовая и особенно планковская космология неизбежно ведут к неметрической физике (или к физике без времени – см. далее). Хотя на планковском масштабе время существует, но оно квантовано. Но между квантами времени *времени нет*, в частно-

сти, потому что нет планковского *кванта невремени*. Это приводит к любопытной онтологии: на данном уровне господствует (темпорально) предельно квантованная мерцающая (мигающая) реальность. Почти по Беркли...

Любопытный и парадоксальный пример возможной неметрической природы времени – кротовые норы³⁴: движущийся объект исчезает в одной горловине кротовой норы, а затем появляется из другой, может быть, за несколько световых лет от первой в нашем обычном пространстве. Для внешнего наблюдателя время между падением в одну горловину и появлением в другой остановлено, можно сказать, исчезает. Для внутреннего же наблюдателя, который связан с объектом, попавшим в горловину кротовой норы, проходит конечное время. В данном случае собственное время и внешнее время резко и радикально расходятся. Различие между этими двумя типами времени существует и в теории относительности. По-видимому, в случае кротовых нор можно говорить о еще большей их радикализации. Похоже, что с топологическими ручками и кротовыми норами связана еще какая-то более радикальная концептуализация физических представлений.

Нужно отметить, что в настоящее время исследуются отдельные элементы неметрической физики. Существуют теории, претендующие на фундаментальные, которые являются полностью неметрическими. Ярким примером подобной теории является теория петлевой квантовой гравитации. Но этим исследованиям в их совокупности не хватает масштабности и коллективной целенаправленности, чтобы стать программой научных исследований. Должно возникнуть еще больше серьезных результатов, а самое главное – должны быть получены новые концептуальные идеи и принципы. Неметрическая программа должна стать такой же фундаментальной, как программа геометризации физики, в то время как современная ситуация с неметрической физикой отчасти напоминает положение дел в формирующейся программе топологизации физики.

5. Программа «Физика без времени»

Но существует еще более радикальный путь: попытаться строить *физику без времени!*

Как мы уже видели выше, в ряде фундаментальных направлений современной теоретической физики – например, в петлевой квантовой гравитации – оформляется тенденция исключения из физики времени на планковском масштабе. Эта же тенденция изначально была заложена в теорию твисторов: «Обычные пространственно-временные понятия не фигурируют изначально среди ингредиентов теории твисторов, а должны быть построены из них»³⁵. Что это означает? Может ли физика обойтись без времени? Можно ли представить себе физические процессы вне времени? Это кажется невозможным, и любые предлагаемые подобные варианты представляют собой жалкие уловки, из которых слишком явно «торчат уши».

В принципе, конечно же, можно рассматривать физические процессы чисто формально, не вводя представлений о времени в явном виде. Существует, например, алгебраическая квантовая теория поля, первоначальный вариант дискретной комбинаторной физики Р.Пенроуза³⁶ и др. Но это слишком формальный путь. На наш взгляд, время может быть исключено из физики при следующих условиях и в следующих смыслах.

1) Если будет исследоваться некий онтологически радикально удаленный от макромира уровень физической реальности, на котором наблюдателю, обладающему макроскопической природой со всеми ее особенностями, будет невозможно не только наблюдать, причем даже опосредовано, но и конструировать эти физические процессы. В случае рассмотрения времени как характеристики физических процессов (например, время как периодичность вращения Земли или даже показания стрелок часов) в описанной ситуации придется сделать вывод, что время исчезает. При этом мы можем привыкнуть к тому, что времени нет, и будем строить абстрактные, чисто математические теории. Существенно, что в этом случае мы не можем говорить об исчезновении времени во всеобщем философском онтологическом смысле. Тем не менее не исключено, что здесь время *исчезает для нас* навсегда.

По существу ситуация следующая: на нашем уровне любые представления о времени, которое связано с протеканием физических процессов, будут *в пределе* закрыты. Здесь время будет иметь предел, например, планковский. Но разум сможет найти в единой Вселенной какие-то новые эмпирические коннекты, связи с этими более глубокими уровнями реальности. Этому есть важный пример.

Казалось бы, квантово-полевой вакуум вообще несчастливый, но тем не менее он напрямую взаимодействует даже с макромиром (с макрообъектами – известный эффект Казимира). На это в данном случае вся надежда. По существу мир эмпирически никогда не закрыт ни на каком уровне. Но он не односвязен. Все уровни реальности качественно, эмерджентно различны, и к этому надо привыкать.

Таким образом, эта программа уже начала выполняться. Например, в спинорной теории.

2) Если окажется, что прошлое, настоящее и будущее, а также направление времени не имеют какого-то принципиального физического значения. Подобная трактовка появляется, например, в теории спиновых сетей: «Странное “время, текущее вспять” в условиях квантового перепутывания есть всего лишь отражение этого безразличия к направлению течения времени, присущего спиновым сетям»³⁷.

3) Если в теоретической физике с течением времени процедура конструирования будет полностью доминировать и все больше будет появляться моделей *с любым* физическим содержанием, которое не сможет быть ни верифицировано, ни фальсифицировано в течение неопределенно долгого времени. В этом случае станет неэффективным понятие эмпирического времени, т. е. времени как характеристики физических (*феноменологических*) процессов: к подобному *феномену* просто не будут больше обращаться³⁸. Существенно, что время здесь рассматривается исключительно как реляционный феномен³⁹.

Принципиальную важность приобретает вопрос о том, присуще ли время природе. Существует ли оно объективно и какова его природа: она реляционна, субстанциональна или ..?⁴⁰ И здесь, конечно, должны быть крайне важны и интересны любые аргументы, хотя бы отчасти проясняющие эту ситуацию. Любопытно, что время согласно СТО равно нулю (или неопределенно?) для фотона⁴¹.

То есть в современной физике на фундаментальном уровне существуют объекты (те же фотоны, гравитоны), которые существуют, фактически, вне времени.

В ряде моделей планковской физики (теория струн, петлевая квантовая гравитация) привычное непрерывное время появляется только на «более бóльшем», на «более грубом» *макроскопическом* уровне. То есть время, так же как и пространство, становится принципиально эмерджентной сущностью. По крайней мере таким становится обычное, непрерывное время. Несомненно, что это серьезное изменение представлений о природе времени. Но принципиально важно, что и в этом случае даже на планковском уровне время не исчезает полностью. Остаются планковские «тики».

Но планковское время ($=10^{-43}$ сек) имеет очень странную природу:

- это недлящееся время. Оно квантовано, и с точки зрения квантовой теории не корректно рассматривать длительности «внутри» 10^{-43} сек. Оно не течет⁴²;

- у него нет направленности (отсутствие стрелы времени);

- у него (и «внутри» него) нет ни прошлого, ни будущего, а возможно только квант настоящего, который представляет собой этот странный «интервал» 10^{-43} сек.

Между этими программами существуют различия. 1) В неметрической физике и пространство, и время продолжают существовать. Но они приобретают радикально другую форму – эмерджентно-дискретную. При этом они исчезают из феноменологической физики. 2) В физике без времени время отсутствует принципиально. Это какая-то принципиально другая физика.

Выяснение оснований этих программ, конечно же, требует специального обсуждения, а какая из них окажется ближе к истине, покажет наше обычное время.

Примечания

¹ См., например: *Молчанов Ю.Б.* Четыре концепции времени в философии и физике. М., 1977.

² Притом, что в ряде фундаментальных физических теорий время обратимо. Например, в классической механике.

³ *Ashtekar A.* Quantum Nature of the Big Bang (arXiv:gr-qc/0602086. V. 2. 6 apr. 2006).

- 4 Хокинг С. Черные дыры и молодые вселенные / Пер. с англ. М.Кононова. СПб., 2004. С. 93.
- 5 Там же.
- 6 Там же.
- 7 Там же. С.133.
- 8 Там же. С. 93–94.
- 9 См., например: *Баращенко В.С.* Многомерное время // Знание – сила. 1995. № 12. С. 62.
- 10 В квантовом случае – планковского состояния.
- 11 Нюансы философии науки в отношении верифицируемости и фальсифицируемости научных результатов мы оставим пока в стороне.
- 12 *Эрекаев В.Д.* Кинематическая онтология в специальной теории относительности // Тез. докл. и выступлений IV Рос. филос. конгр. (Москва, 24–28 мая 2005 г.). М., 2005. С. 486–487.
- 13 *Линде А.Д.* Инфляция, квантовая космология и антропный принцип (<http://www.astronet.ru/db/msg/1181084/node0.html>).
- 14 Там же.
- 15 Там же.
- 16 Энциклопедия физики и техники (http://www.femto.com.ua/articles/part_2/4202.html).
- 17 *Smolin L.* The unique universe (<http://physicsworld.com/cws/article/indepth/39306>).
- 18 *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. М., 2007. С. 790.
- 19 *ДеВитт Б.* Квантовая гравитация // В мире науки. 1984. № 2. Февр. С. 50–62.
- 20 *Bojowald M.* Loop Quantum Cosmology (arXiv:gr-qc/0601085v1 20 Jan 2006. P. 1).
- 21 *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 798.
- 22 Из: A.Ashtekar, T.Pawlowski, P.Singh, Physical Review Letters, 96, 141301 (12.4.2006).
- 23 Или произошел любой другой периодический (физический) процесс.
- 24 *Грин Б.* Ткань космоса: Пространство, время и текстура реальности. М., 2009. С. 339.
- 25 Там же. С. 340.
- 26 Там же. С. 356.
- 27 Там же.
- 28 *Vaas R.* Time before Time – Classifications of universes in contemporary cosmology, and how to avoid the antinomy of the beginning and eternity of the world (arXiv:physics/0408111 – 25 Aug 2004).
- 29 *Yakir Aharonov and Eyal Y. Gruss* . Two-time interpretation of quantum mechanics (arXiv:quant-ph/0507269 v1 28 Jul 2005).
- 30 *Xiaodong Chen.* Three Dimensional Time Theory: to Unify the Principles of Basic Quantum Physics and Relativity (arXiv:quant-ph/0510010 v1 3 Oct 2005).
- 31 *Эрекаев В.Д.* О развитии понятия движения в пространствах сложной природы // Аналитическая механика, устойчивость и управление движением: VIII Четаевская междунаrod. конф. Тез. Казань, 2002. С. 377–378.

- ³² Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. М., 1979. С. 411.
- ³³ Смолин Л. Атомы пространства и времени // В мире науки. 2004. Апр. (http://trames.ru/eoireitumdem/library/hronos/smolin_atomy.htm).
- ³⁴ См, например: Торн К. Черные дыры и складки времени. М., 2007.
- ³⁵ Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. С. 798.
- ³⁶ Там же. С. 785.
- ³⁷ Там же. С. 798.
- ³⁸ И некоторые подобные прецеденты наблюдаются уже в современной теоретической физике.
- ³⁹ Вполне допустимо существование и других условий.
- ⁴⁰ Различные существующие в науке и философии варианты ответов на подобные вопросы см. например: Молчанов Ю.Б. Четыре концепции времени в философии и физике. М., 1977.
- ⁴¹ Фотона как частицы света без необходимости рассмотрения его квантовых свойств. В последнем случае необходимо добавлять еще соотношения неопределенностей в некотором предельном случае, связанном с предельностью скорости света в природе (согласно СТО).
- ⁴² Существенно, что это имеет место не только на предельном квантовом уровне: «...переосмысление некоторых выводов Эйнштейна из специальной теории относительности показывает, что время не течёт».

Содержание

Предисловие	3
<i>В.И.Аришинов</i>	
Время – коммуникация – Вселенная.....	4
<i>И.В.Владленова</i>	
Возможно ли решение космологических проблем в рамках теории суперструн?.....	25
<i>Р.М.Нугаев</i>	
Теория суперструн и проблема размерности пространства-времени в современной космологии	52
<i>А.Д.Панов</i>	
Природа математики, космология и структура реальности: физические основания математики.....	74
<i>А.Ю.Севальников</i>	
Время в современной космологии	104
<i>В.Д.Эрекаев</i>	
Проблема времени в квантовой гравитации и квантовой космологии.....	122

Научное издание

Метавселенная, пространство, время

*Утверждено к печати Ученым советом
Института философии РАН*

Художник *Н.Е. Кожина*

Технический редактор *Ю.А. Аношина*

Корректор *Е.Н. Дудко*

Лицензия ЛР № 020831 от 12.10.98 г.

Подписано в печать с оригинал-макета 16.05.13.

Формат 60х84 1/16. Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 9,00. Уч.-изд. л. 7,34. Тираж 500 экз. Заказ № 009.

Оригинал-макет изготовлен в Институте философии РАН

Компьютерный набор: *Е.Н. Платковская*

Компьютерная верстка: *Ю.А. Аношина*

Отпечатано в ЦОП Института философии РАН

119991, Москва, Волхонка, 14, стр. 5

Информацию о наших изданиях см. на сайте Института философии:

<http://iph.ras.ru/arhive.htm>